

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
MESTRADO EM AMBIENTE CONSTRUÍDO

Tháisa Barboza de Souza

Poluição sonora em um *campus* universitário: quais os impactos na percepção e no comportamento dos usuários?

Juiz de Fora

2020

Tháisa Barboza de Souza

Poluição sonora em um *campus* universitário: quais os impactos na percepção e no comportamento dos usuários?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Projeto do Ambiente Construído.

Orientador: Dr. Klaus Chaves Alberto

Coorientadora: Dr^a. Sabrina Andrade Barbosa

Juiz de Fora

2020

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Souza, Thaísa Barboza de.

Poluição sonora em um campus universitário : quais os impactos na percepção e comportamento dos usuários? / Thaísa Barboza de Souza. -- 2020.

108 f.

Orientador: Klaus Chaves Alberto

Coorientadora: Sabrina Andrade Barbosa

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, 2020.

1. Poluição sonora. 2. Percepção sonora. 3. Medição sonora. 4. Campus universitário. 5. Mapeamento de ruído. I. Alberto, Klaus Chaves, orient. II. Barbosa, Sabrina Andrade, coorient. III. Título.

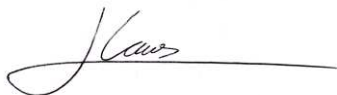
Tháisa Barboza de Souza

Poluição sonora em um *campus* universitário: quais os impactos na percepção e comportamento dos usuários?

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído. Área de concentração: Projeto do Ambiente Construído.

Aprovada em 30 de abril de 2020

BANCA EXAMINADORA



Dr. Klaus Chaves Alberto – Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora



Dr^a. Sabrina Andrade Barbosa – Coorientadora
Universidade Estadual do Rio de Janeiro



Dr. Frederico Braid Rodrigues de Paula – Convidado Interno
Universidade Federal de Juiz de Fora



Dr^a. Virgínia Maria Dantas de Araújo – Convidada Externa
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

AGRADECIMENTOS

Gratidão ao querido professor e orientador Klaus Alberto pela disposição e ajuda, em que estive comigo desde as aulas de graduação. E à querida orientadora Sabrina Barbosa pelo suporte e conselhos durante esses 2 anos.

Aos meus amados pais, Márcia Patrícia e Sebastião de Souza, por todo amparo necessário, caminhando ao meu lado para que eu pudesse me sentir ainda mais forte. Sem vocês eu nada seria. Ao meu irmão, Cássio Henrique, pelas vibrações positivas desejadas que fizeram toda a diferença. Ao Wellington Paro, por ter estado comigo desde o início de minha trajetória acadêmica, me vendo crescer a cada dia e me levantando a cada recaída.

À Bárbara Panza, Isabela Ruback, Jessica Ventura, Julia Medeiros e Larissa Brandão. Sou eternamente grata por sempre estarem presente, me apoiando e me ouvindo nos momentos difíceis e comemorando nos momentos alegres. Agradeço também aos demais amigos que tenho total carinho e respeito e que estiveram ao meu lado toda vez que precisei, em especial ao Matheus Mendes e ao Diogo Machado.

Aos novos amigos que o PROAC me deu e aos antigos que se juntaram a mim nessa mesma jornada me proporcionando momentos maravilhosos de risadas em meio às angústias de todo o processo. Com certeza, somente estes souberam a verdadeira aflição e inquietação que sentimos em muitas das vezes.

À Prof^a. Dr^a. Virgínia Araújo e a Me. Tamáris Brasileiro, da UFRN, e ao Prof. Dr. Frederico Braidá que tanto contribuíram com valiosas ponderações para o aperfeiçoamento do trabalho, através de parcerias e da participação na banca examinadora.

Aos bolsistas da Iniciação Científica, Maria Cassani, André Borges e Julio Cesar, pela assistência durante a parte prática deste trabalho. Espero ter contribuído para a formação de todos de alguma forma.

À CAPES, FAPEMIG e UFJF pelo apoio financeiro a mim e aos bolsistas inseridos no projeto durante o período do mestrado.

RESUMO

A poluição sonora é considerada um problema ambiental em diversos *campi* de universidades, sendo que o ruído excessivo pode comprometer o desempenho acadêmico dos usuários. Este trabalho tem como objetivo identificar a influência do nível de pressão sonora do *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) na percepção e no comportamento dos usuários dentro dos ambientes. O estudo foi realizado por meio de medições *in loco* nas áreas externas e ambientes internos em todo o *campus* e os resultados foram comparados com recomendações de normas nacionais e internacionais. Além disso, foram identificadas e avaliadas algumas estratégias adotadas no projeto do *campus* que promovem a mitigação do ruído. Posteriormente, houve a aplicação de questionários a uma amostra de 626 participantes como forma de avaliar suas experiências e percepções em relação ao ruído no *campus*. Os resultados indicam que o ruído da Instituição não é adequado para uma área educacional, uma vez que 81% dos pontos medidos no ambiente externo excederam o recomendado pela norma brasileira NBR 10.151 e 50% dos pontos superaram os limites menos restritivos da World Health Organization (WHO). Nos ambientes internos analisados, 100% dos pontos medidos atingiram níveis de pressão sonora acima do recomendado pela WHO e pela norma NBR 10.152. Apesar disso, 46% dos voluntários dizem não serem perturbados pelo som existente, tornando a poluição sonora despercebida pela população. A aplicação de afastamentos da via à edificação e o uso de taludes para o desnivelamento das edificações em relação a via (ambos com a presença de superfícies absorvedoras) foram identificadas como estratégias projetuais que contribuem para a mitigação do ruído no *campus*. Contudo, conclui-se que essas estratégias ainda não são suficientes para assegurar índices de qualidade ambiental acústica na UFJF, recomendados pela NBR 10.151 e WHO.

Palavras-chave: Poluição sonora. Percepção sonora. Medição sonora. *Campus* universitário. Mapeamento de ruído.

ABSTRACT

Noise pollution is considered an environmental problem on several university campuses. The excessive noise can compromise the academic performance of users. Thus, this work aims to identify the influence of the sound pressure level of the campus of the Federal University of Juiz de Fora (UFJF) on the perception and behavior of users within the environments. This study was carried out by using on-site measurements collected on the external areas and in the internal environments across the campus and the results were compared to recommendations from national and international standards. In addition, the design strategies adopted in the campus project that promote noise mitigation were identified and evaluated. Questionnaires were also applied to a sample of 626 participants in order to assess their experiences and perceptions regarding noise on the campus. The results indicate that the institution's noise is not suitable for an educational area, since 81% of the points measured in the external environment exceeded that recommended by the Brazilian standard NBR 10.151 and 50% of the points exceeded the less restricted limits of the World Health Organization (WHO). In the indoor environments analysed, 100% of the measured points reached sound pressure levels above that recommended by WHO and by the national NBR 10.152 standard. Despite this, 46% of the volunteers say they are not disturbed by the existing sound, making noise pollution unnoticed by the population. The application of distance from the road to the building and the application of slopes for the unevenness of buildings in relation to the road (both with the use of surfaces with a high sound absorption rate materials) were identified as design strategies that contribute to the mitigation of noise on the campus. However, it is concluded that these strategies are still not enough to ensure indices of environmental acoustic quality at the institution, recommended by Brazilian NBR 10.151 and WHO recommendations.

Keywords: Noise pollution. Sound perception. Sound measurement. University campus. Noise mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Efeitos do ruído à saúde versus quantidade de pessoas afetadas	16
Figura 2 - Localização da UFJF no município de Juiz de Fora – MG	42
Figura 3 - Vista aérea do <i>campus</i> da UFJF logo após sua implantação, em 1969 ...	42
Figura 4 - Plataformas da UFJF	45
Figura 5 - Pontos de medições externas	49
Figura 6 - Pontos selecionados para o teste estatístico	51
Figura 7 - Pontos de medições internas	53
Figura 8 - Pontos de medições externas do teste-piloto	56
Figura 9 - Pontos de medições internas do teste-piloto	56
Figura 10 - Localização dos cortes no <i>campus</i> da UFJF de acordo com os segmentos.....	59
Figura 11 - Faixa de pressão sonora externa	64
Figura 12 - Faixa de pressão sonora interna, no período de 07:30 às 09:30	66
Figura 13 - Faixa de pressão sonora interna, no período de 11:30 às 13:30	66
Figura 14 - Faixa de pressão sonora interna, no período de 16:30 às 18:30	66
Figura 15 - Plataformas do <i>campus</i> da UFJF	74
Figura 16 - Corte A-A	76
Figura 17 - Corte B-B	77
Figura 18 - Corte C-C.....	79
Figura 19 - Corte D-D.....	82

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1 - Termo-Anemômetro Digital Portátil Mod. TAD-800 – INSTRUTHERM.....	50
Foto 2 - Sonômetro Digital Portátil Mod. DEC-5030	50
Foto 3 - Fotos de alguns ambientes internos avaliados.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Média (♦) ± desvio padrão dos valores dos níveis de pressão sonora considerando os períodos de 3 min, 15 min e 60 min.....	52
Gráfico 2 - Nível de pressão sonora das 07:30 às 09:30, medido no ambiente externo	63
Gráfico 3 - Nível de pressão sonora das 11:30 às 13:30, medido no ambiente externo	63
Gráfico 4 - Nível de pressão sonora das 16:30 às 18:30, medido no ambiente externo	64
Gráfico 5 - Faixa de nível de pressão sonora medido no ambiente externo	71
Gráfico 6 - Faixa de nível de pressão sonora medido no ambiente interno	72
Gráfico 7 - Descritores acústicos dos pontos do Corte A-A.....	76
Gráfico 8 - Descritores acústicos dos pontos do Corte B-B.....	77
Gráfico 9 - Descritores acústicos dos pontos do Corte C-C.....	80
Gráfico 10 - Descritores acústicos dos pontos do Corte D-D.....	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo de todos os autores estudados no item 2.2.....	32
Quadro 2 - Resumo da coleta de dados.....	58
Quadro 3 - Divisão das plataformas em mais ou menos ruidosas.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período.....	25
Tabela 2 - Valores de referência para ambientes internos de uma edificação de acordo com suas finalidades de uso.....	25
Tabela 3 - Orientações para ruído na comunidade segundo WHO (1999)	26
Tabela 4 - Tabela resumo quanto aos limites sonoros recomendados adotados nesta pesquisa.....	27
Tabela 5 - Contagem do fluxo de veículos	50
Tabela 6 - Divisão dos pontos de medição.....	61
Tabela 7 - Distribuição dos participantes de acordo com a idade.....	67
Tabela 8 - Divisão dos respondentes por grupos	67
Tabela 9 - Resultados da votação sobre o tipo de som escutado durante a aplicação do questionário.....	68
Tabela 10 - Tempos de reverberação ideais e calculados de quatro salas	69
Tabela 11 - Distribuição dos participantes de acordo com a idade.....	73
Tabela 12 - Divisão dos respondentes por grupos	73
Tabela 13 - Valores de elevado NPS da plataforma 1 de acordo com os períodos do dia	75
Tabela 14 - Respostas obtidas por respondentes da plataforma 1	78
Tabela 15 - Respostas obtidas por respondentes que se sentam ao lado da janela nos períodos de 11h30 às 13h30 e 16h30 às 18h30	81
Tabela 16 - Respostas obtidas por respondentes da plataforma 5.....	83
Tabela 17 - Tempo de reverberação ideal e calculado das salas de aula mais prejudicadas da plataforma 5	84
Tabela 18 - Respostas obtidas por respondentes das plataformas de zona menos ruidosa quanto ao tipo de som mais ouvido externamente aos ambientes	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
CAED	Centro de Políticas Públicas e Avaliação da Educação
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
dB	Decibel
ES	Espírito Santo
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Organization for Standardization
LAeq	Nível de Pressão Sonora Contínuo Equivalente ponderado em A
LAF _{mín}	Menor nível de pressão sonora no período de medição
LAF _{max}	Maior nível de pressão sonora no período de medição
LAF ₁₀	Nível de pressão sonora excedido em 10% do tempo de medida efetiva
LAF ₉₀	Nível de pressão sonora excedido em 90% do tempo de medida efetiva
MG	Minas Gerais
NBR	Normas Brasileiras
NCA	Nível de Critério de Avaliação
NPS	Nível de Pressão Sonora
PA	Pará
PR	Paraná
PROAC	Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído
RJ	Rio de Janeiro
RS	Rio Grande do Sul
RU	Restaurante Universitário
SP	São Paulo
TR	Tempo de Reverberação
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVO GERAL	20
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	20
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	NORMAS E LEGISLAÇÕES	22
2.2	O RUÍDO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO	27
2.2.1	Ruído em ambientes externos em instituições de ensino	27
2.2.2	Ruído em ambientes internos em instituições de ensino	29
2.2.3	Propostas de mitigação do ruído nos ambientes externos e internos	31
2.3	METODOLOGIAS PARA A AVALIAÇÃO DO MAPEAMENTO SONORO	34
2.3.1	Mapeamento do ruído por simulação computacional	35
2.3.2	Medições <i>in loco</i>	36
2.3.3	Avaliação das experiências dos usuários	38
2.3.4	Avaliação dos especialistas	38
2.4	CONSIDERAÇÕES A PARTIR DA REVISÃO DE LITERATURA	39
3	MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1	RECORTE ESPACIAL: <i>CAMPUS</i> DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA	41
3.2	MAPEAMENTO SONORO	47
3.2.1	Coleta de dados	47
3.2.2	Medições <i>in loco</i>	48
3.3	DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS	54
3.4	TESTE PILOTO	55
3.4.1	Medições <i>in loco</i>	55
3.4.2	Aplicação de questionário	57
3.5	ESTRATÉGIAS PROJETAIS DO <i>CAMPUS</i> PARA MITIGAÇÃO DO RUÍDO	57
3.5.1	Coleta de dados	58
3.5.2	Medições <i>in loco</i>	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	62

4.1	TESTE PILOTO	62
4.1.1	Medições <i>in loco</i>	62
4.1.2	Aplicação de questionário	67
4.2	MAPEAMENTO SONORO DO <i>CAMPUS</i>	70
4.2.1	Plataforma 1	75
4.2.2	Plataforma 2	79
4.2.3	Plataformas 3 e 4	80
4.2.4	Plataforma 5	81
4.2.5	Plataformas 6, 7 e 8	84
4.2.6	Plataforma 9	86
4.2.7	Plataforma 10	87
4.2.8	Considerações gerais	88
5	CONCLUSÃO	90
	REFERÊNCIAS	93
	APÊNDICE A – Planilha modelo para as medições sonoras externas e internas	102
	APÊNDICE B – Planilha para contagem do fluxo automobilístico ...	104
	APÊNDICE C – Questionário aplicado com as modificações feitas após o teste piloto	105
	APÊNDICE D – Planilha para o compilamento dos dados referentes a aplicação de questionário	106
	APÊNDICE E – Planilha para coleta de dados sobre os segmentos para análise das estratégias projetuais do <i>campus</i> para mitigação do ruído	107
	ANEXO A – Parecer com a autorização do comitê de ética quanto ao questionário	108

1 INTRODUÇÃO

A Diretiva da União Europeia (WHO, 2011) define ruído ambiental como um “som externo indesejado ou prejudicial criado por atividades humanas, incluindo ruído de estradas, ferrovias, aeroportos e de instalações industriais”. Com isso, vê-se que, dentre as diversas formas de poluição ambiental, a poluição sonora é uma das que mais tem afetado a qualidade de vida dos seres humanos, especialmente nas grandes cidades, onde há um congestionamento dos sons (RAZDAN, 2005). Segundo Schafer, em entrevista dada a Razdan (2005), desde os tempos romanos já existiam reclamações sobre o ruído devido aos carrinhos comerciais para a venda de alimentos, mas foi a partir da Revolução Industrial nos séculos XVIII e XIX que houve uma intensificação dessa poluição devido, principalmente, ao uso em massa dos maquinários (MURGEL, 2007).

Sobre isso, Schafer (1977) divide a paisagem sonora em “pré-industrial” (ambientes acústicos de alta-fidelidade) e “pós-industrial” (ambientes acústicos de baixa-fidelidade). A paisagem sonora de alta-fidelidade trata de ambientes com sons que se sobrepõem com menos frequência, sendo caracterizados pela falta de mascaramento de ruído, podendo então ser ouvidos distintamente. Nessa paisagem sonora, o horizonte acústico se estende a uma maior distância que a “pós-industrial”, permitindo que sons emanados por uma comunidade sejam ouvidos a quilômetros de sua origem. Já em locais de baixa-fidelidade, qualquer som significativo pode ser mascarado a ponto de um indivíduo não conseguir ouvir o barulho refletido de seus próprios passos ou falas. Esses ambientes se caracterizam por ter uma sobreposição de sons fazendo com que eles se fundam e transformem a informação sonora em ruído.

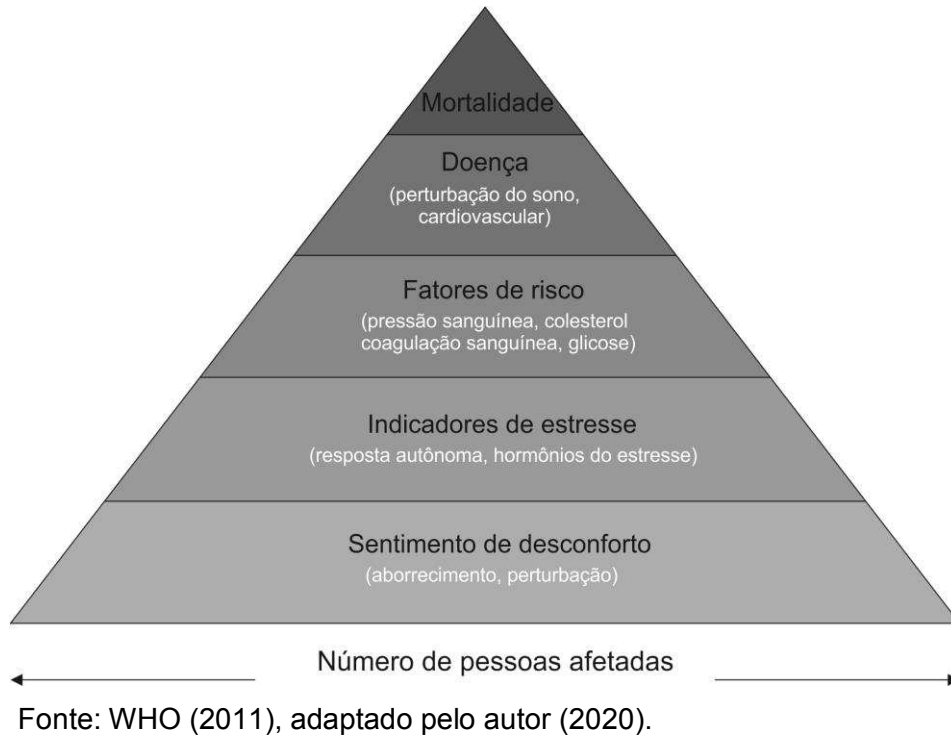
A WHO (1999) indica que a poluição sonora se expandiu por diversos outros fatores além das indústrias: aumento do tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo atrelados à urbanização e ao crescimento econômico. O mesmo documento afirma ainda que países em desenvolvimento estão mais expostos ao ruído em comparação aos desenvolvidos, o que pode ser explicado pelo mau planejamento urbano e pela construção desordenada dos edifícios. Por isso, em entrevista (RAZDAN, 2005), Schafer denuncia os humanos de serem os produtores dos sons destrutivos, já que atualmente há muito mais tipos e volumes de sons do que existiam antes.

Entretanto, embora seja de costume ou necessário concentrar o problema em um único agente, o ruído é apenas um dos elementos de uma combinação de várias tensões associadas ao meio ambiente. Apesar de subjetivo, o desconforto acústico é

determinado pelo grau de exposição física e por variáveis psicológicas dos indivíduos (WHO, 1980). De acordo com a WHO (2018), o ruído é classificado como o segundo maior poluidor mundial, atrás somente da poluição atmosférica. Como consequência, pelo menos um milhão de anos de vidas são perdidas na Europa Ocidental devido ao ruído de diversos tipos de tráfego. Em toda a União Europeia esse número aumenta para 1,6 milhão de anos considerando o tráfego rodoviário que gera, principalmente, incômodo e perturbação do sono (WHO, 2018). A população que vive em áreas urbanas densamente povoadas e próximas às rodovias, ferrovias e aeroportos é a mais atingida, sendo o ruído uma das fontes ambientais que mais geram reclamações (WHO, 2011).

Através da entrevista, Schafer afirma que uma exposição esporádica a 100 dB não chega a afetar a saúde humana drasticamente, porém se o indivíduo ouvir estes mesmos níveis de pressão sonora, ao longo de todo o dia, terá sua audição severamente afetada (RAZDAN, 2005). A exposição a altos níveis de pressão sonora pode gerar problemas de saúde, tanto psicológicos como ansiedade, depressão, estresse e cansaço (WHO, 2011), quanto problemas cardíacos, auditivos ou cognitivos, afetando de fetos a idosos (WHO, 2018). Geralmente, a comunicação verbal, o ensino, a aprendizagem, as atividades mentais e o sono são os mais afetados (GIERKE; ELDRED, 1997). Em jovens, a habilidade de leitura e compreensão pode ser retardada em até um mês quando expostos a sons indesejáveis (WHO, 2018). A relação entre os efeitos do ruído à saúde e a quantidade de pessoas que são afetadas está representada na Figura 1. Contudo, nem sempre as pessoas têm consciência dos impactos que o ruído pode causar, especialmente aquelas expostas a ruídos de longo prazo em níveis mais baixos (WHO, 2018).

Figura 1 - Efeitos do ruído à saúde versus quantidade de pessoas afetadas



Um estudo da *World Health Organization* mostrou que o ruído de tráfego ficou em segundo lugar entre os principais estressores ambientais em seis países europeus (WHO, 2011). Esse ruído é relevante pois atinge um significativo número de pessoas ao mesmo tempo, seguido do barulho provocado por vizinhos e por aeronaves. Já os ruídos ferroviário e industrial são enumerados com menos frequência (WHO, 2018). O ruído do tráfego rodoviário advém principalmente dos motores e do atrito do asfalto com o pneu do veículo. Ele depende do fluxo do tráfego, da velocidade do veículo e da proporção de veículos pesados que, como as motocicletas, são duas vezes mais barulhentos que os carros. Entretanto, embora os veículos leves sejam menos ruidosos que os pesados individualmente, em conjunto eles se tornam a maior fonte de ruído urbano (NIEMEYER, 2007). Nesse sentido, locais como cruzamentos e semáforos são considerados importantes polos geradores (WHO, 1980).

Para uma exposição diurna média ao ruído de tráfego rodoviário, recomenda-se que estes produzam, no máximo, até 53 dB, já que acima deste valor surgem efeitos adversos à saúde. Para a exposição noturna, a recomendação é de, no máximo 45 dB, pois acima disso, o sono poderá ser afetado (WHO, 2018). Entretanto, a *European Environment Agency* (2014) estima que mais de 72 milhões de europeus estão expostos a um nível noturno superior a 50 dB, sendo que essa quantidade de ruído só tende a aumentar, visto que a demanda pelo transporte cresce junto com o número de habitantes de uma cidade. Para tal redução, é preciso intervir tanto na origem do

problema quanto na rota até o receptor e, para isso, existem algumas possibilidades como a substituição dos pneus dos veículos, a modificação da pavimentação asfáltica, a construção de barreiras acústicas, a instalação de janelas à prova de som, a instalação de limitadores de velocidade, a definição do tipo de tráfego que pode circular por determinadas vias, dentre outros (WHO, 2018).

Porém, um equívoco comum é pensar que uma boa resposta para o controle do ruído é obter sua total ausência, implicando em silêncio. O som é um fator essencial para a vida humana, pois é capaz de sempre fornecer informações sobre aquilo que nos rodeia e sobre quais atividades ocorrem em um determinado espaço, por isso, inúmeros objetos têm seus sons característicos (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2014). Portanto inserir seres humanos em um ambiente totalmente silencioso pode levar a um certo desconforto. Segundo a *Environmental Noise Directive* (2002), uma área silenciosa é aquela que não é perturbada pelo som externo indesejável e prejudicial à saúde, que não interfere nos processos de pensamento, leitura, escrita e sono. Dessa forma, não se busca pelo silêncio e sim pelo conforto e relaxamento.

Para o controle do ruído, que se caracteriza por ser de grande complexidade uma vez que possui diversidade de origens e está presente em muitos lugares ao mesmo tempo (LEONEL, 1994), legislações nacionais e internacionais têm estabelecido limites sonoros com o objetivo de evitar o incômodo da população e os danos à audição. Contudo, essas normatizações ainda não são vigentes em vários países e, em grande parte de onde existem, não são seguidas.

Visando o bom planejamento urbano, é imprescindível setorizar os usos do solo de cada área de uma cidade. Atividades que não necessitam de muito silêncio, tais como área de comércio e avenidas de grande fluxo, devem estar distantes de zonas mais sensíveis ao ruído (MACEDO; SLAMA, 2000). Em Portugal, por exemplo, só é permitida a implantação de áreas residenciais, escolares ou de saúde em regiões classificadas como pouco ruidosas (GUEDES; VALADAS; COELHO, 1997). Tal planejamento é possível através do monitoramento do nível de pressão sonora (NPS) de forma a avaliar a evolução acústica de um ambiente em comparação às medições anteriores (RIOS; SILVA, 1995). Sendo assim, é necessário definir zonas calmas em diversos pontos de uma cidade. Essa área é caracterizada onde o ruído não é dominante e pode ocorrer em parques, jardins, pátios ou em meio às construções.

Quatro métodos sugeridos pela *European Environment Agency* (2014) para a identificação dessas zonas e que são os mais usuais aos pesquisadores da área são: o mapeamento do ruído por simulação, para que se consiga visualizar o nível de pressão

sonora de diversas fontes em uma região (GIUNTA; SOUZA, 2011; MORAES *et al.*, 2013; ALETTA; KANG, 2015; NAVARRO; BRUNA, 2015); as medições *in loco*, para calibrar a confiabilidade dos valores do mapeamento por simulação (KRUMENAUER; KINZEL; GONZALEZ, 2015; THATTAI *et al.*, 2017; ÇOLAKKADIOĞLU *et al.*, 2018; MAGIOLI; TORRES, 2018); a avaliação das experiências dos usuários (ZANNIN *et al.*, 2013; JOHN; THAMPURAN; PREMLET, 2016; PENTEADO; NETO, 2017) e a avaliação de especialistas (OZER; ZENGIN; YILMAZ, 2014; MARCHETE; CUNHA, 2015), para que se conheça a percepção humana frente àqueles ruídos.

A exposição ao ruído é um tema atual, mas boa parte da população mundial ainda não está suficientemente sensibilizada. Apesar da existência de diversas pesquisas sobre o assunto em diferentes objetos de estudo como, por exemplo, parques e bairros (BRASILEIRO; ARAÚJO, 2017; CALLEJA *et al.*, 2017; SZEREMETA; ZANNIN, 2009; YANG; KANG, 2005; ZHANG *et al.*, 2018), ainda há uma defasagem quanto aos ambientes educacionais. Nesta tipologia arquitetônica, esse problema foi notado em alguns países como Índia (JOHN; THAMPURAN; PREMLET, 2016; THATTAI *et al.*, 2017), Turquia (ÇOLAKKADIOĞLU *et al.*, 2018; OZER; ZENGIN; YILMAZ, 2014), Nigéria (NTUI, 2009) e Arábia Saudita (EL-SHARKAWY; ALSUBAIE, 2014), por exemplo. No Brasil, há estudos sobre o assunto em locais pontuais como Curitiba e Apucarana – PR (PENTEADO; NETO, 2017; ZANNIN *et al.*, 2013), Rio de Janeiro – RJ (MAGIOLI; TORRES, 2018), São Leopoldo – RS (KRUMENAUER; KINZEL; GONZALEZ, 2015), Belém – PA (MORAES *et al.*, 2013), Colatina – ES (MARCHETE; CUNHA, 2015) e Campinas – SP (NAGEM, 2004). Assim, é possível concluir que ainda é necessária a exploração desse tema, uma vez que a investigação da qualidade sonora ambiental é indispensável em uma instituição acadêmica, já que diversas pessoas permanecem ali por bastante tempo, independentemente de o objetivo ser profissional ou de aprendizagem (BRITO, 2016). Dessa forma, torna-se essencial a realização da investigação do ruído em ambientes que deveriam estar em zonas de conforto sonoro por necessitarem de calma e relaxamento. Para isso é interessante que os métodos recomendados pela *European Environment Agency* (2014) sejam considerados.

Assim, esta pesquisa tem como recorte espacial o *campus* sede da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), inserido na cidade de Juiz de Fora, que conta com uma população estimada de 568 mil habitantes (IBGE, 2019) e está localizada na região da Zona da Mata Mineira. A Universidade, inaugurada na década de 1960, encontra-se na região oeste do município e está cercada por construções de porte baixo, médio e alto,

com gabaritos médios a altos, divididas, principalmente, entre residências uni e multifamiliares, comércios, hotéis, um shopping e um hospital. Ao longo dos anos, a UFJF tem provocado o desenvolvimento dos bairros ao seu redor devido à expansão territorial urbana local desde a década de 1960. No *campus* tem havido um aumento considerável do ruído local por ser um ponto de ligação entre as regiões Centro-Sul-Oeste da cidade, desde que o acesso se tornou aberto para a passagem de toda a população¹. Neste estudo, todas as edificações do *campus* foram consideradas, cobrindo uma área de aproximadamente 100 ha. Essa Instituição e seu *campus* têm muitas semelhanças formais, funcionais e espaciais com outros *campi* nacionais e internacionais criados no mesmo período (BASTOS, 2019). Essa semelhança pode ampliar o impacto do método e dos resultados deste estudo, podendo auxiliar em análises e intervenções de demais *campi*.

A pesquisa se torna relevante na medida em que, assim como outros casos no Brasil, a proximidade do *campus* com o adensamento urbano, ligando-o em duas regiões urbanas importantes da cidade (Centro-Sul-Oeste), resulta em espaços de recepção sonora excessiva, o que pode causar problemas à saúde física e mental dos acadêmicos, resultando em baixo desempenho de alunos, professores e funcionários. Contudo, há ainda uma carência de pesquisas que revelem como o ruído é percebido pelos usuários do *campus* universitário e de que forma a poluição sonora afeta seus comportamentos dentro dos ambientes. Assim, esta pesquisa considera o seguinte problema e hipótese:

Problema: Quais os impactos da poluição sonora na percepção e no comportamento dos usuários dentro dos ambientes frente ao ruído externo do *campus*?

Hipótese: As atividades desenvolvidas no *campus* universitário da UFJF, em decorrência do tráfego automotivo e conversas de pessoas, produzem alto nível de pressão sonora, afetando a comunidade acadêmica e influenciando em seu comportamento.

¹ Não existem outros estudos que analisaram o aumento do ruído no *campus* desde a sua implantação, tornando os dados da presente pesquisa inéditos. Porém, é reconhecido que, com o desenvolvimento da cidade de Juiz de Fora, o *campus* tornou-se a principal conexão viária entre boa parte da região centro e da região sul com a região oeste o que aumentou o fluxo de automóveis dentro do perímetro da universidade.

1.1 OBJETIVO GERAL

Identificar a influência do nível de pressão sonora do *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora na percepção e no comportamento dos usuários dentro dos ambientes.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, baseados nos métodos recomendados pela *European Environment Agency* (2014), propõe-se:

- a) determinar números e locais de pontos para coleta de dados e medição *in loco* do nível de pressão sonora no *campus* universitário;
- b) verificar a eficácia, quanto a mitigação do ruído, das estratégias projetuais existentes no *campus*;
- c) identificar a percepção sonora e o efeito dos níveis de ruído no comportamento dos usuários do *campus*;
- d) avaliar se os ambientes externos e internos do *campus* estão em acordo com as normas nacionais e internacionais.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em 3 capítulos além da Introdução e da Conclusão. A **Introdução** contém uma contextualização geral sobre poluição sonora, com breve relato de dados publicados pela *World Health Organization* (WHO) nos últimos 40 anos. Além disso, apresenta o recorte espacial, a questão problema, a hipótese e os objetivos geral e específicos deste trabalho.

O **Capítulo 1**, subdividido em 4 partes, descreve as normas e legislações nacionais e internacionais que tratam sobre a poluição sonora, seus impactos no meio ambiente e na população. Posteriormente, apresenta-se uma revisão bibliográfica a fim de reunir trabalhos que avaliaram o comportamento do ruído nas instituições de ensino do Brasil e do mundo, bem como levantar os métodos utilizados por diferentes autores. O capítulo é finalizado com uma análise geral da revisão feita.

Com base no conhecimento adquirido na revisão da literatura, o **Capítulo 2** define a metodologia proposta para este estudo. Inicia-se pela apresentação do recorte

espacial, descrevendo informações sobre sua implantação, suas diferentes áreas territoriais, além de sua morfologia. Adicionalmente, o capítulo detalha o desenvolvimento do mapeamento sonoro com o levantamento da coleta de dados da universidade e a aplicação de questionário aos voluntários. Mostra-se também como essa metodologia foi aplicada a um teste piloto, realizado em um trecho menor do *campus*, anterior ao trabalho geral, a fim de validar e identificar falhas nos métodos escolhidos. Ao final, o capítulo expõe o passo a passo de como foi feita a investigação das estratégias projetuais que existem no *campus* e podem ajudar na mitigação do problema.

O **Capítulo 3** se inicia com os resultados do teste piloto e, posteriormente, apresenta o cenário acústico atual do *campus* universitário por meio de gráficos gerados pela coleta de dados e pelas medições *in loco*. Também são feitas comparações entre os níveis de pressão sonora registrados e os limites recomendados pelas diretrizes nacionais e internacionais, bem como comparações dessas medições com as respostas dos usuários. Além disso, há o resultado e análise sobre as estratégias projetuais. Para todo esse conteúdo, dividiu-se o capítulo em dois tópicos separando os resultados do teste-piloto e do estudo geral, sendo este último dividido ainda em 8 subtópicos, de acordo com as análises de cada área da universidade.

Por fim, no item **Conclusão**, são levantadas as considerações finais do trabalho a partir das reflexões sobre os resultados. Inclui também as fragilidades e limitações da pesquisa, além de propor mais investigações que podem ser obtidas a partir deste estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Normas e legislações brasileiras e internacionais que discorrem sobre o impacto da poluição sonora no meio ambiente e na população foram consultadas a fim de explicitar como o ruído é tratado no Brasil e no mundo (MINAS GERAIS, 1978, 1990; NBR 12.179, 1992; NBR 10.151, 2019; NBR 16.313, 2014; NBR 10.152, 2017a; NBR ISO 3.382-2, 2017b; BRASIL, 1988, 1997, 1998; CONAMA, 1990a, 1990b, 1993a, 1993b, 1999; ISO 9613-1, 1993; ISO 9613-2, 1996; ISO 18.233, 2006; ISO 1996-1, 2016; ISO 1996-2, 2017; ISO 1996-3, 1987). Livros como o de Schafer (1977), Santos (2005), Murgel (2007), Carvalho (2010) e Bistafa (2011) foram usados também como referências para o entendimento geral de som e ruído. Eles abordam, dentre outros tópicos, os princípios da acústica, os efeitos do ruído no homem, as principais fontes sonoras, além das formas para o controle, tratamento e comportamento acústico de alguns materiais. Periódicos como *Applied Acoustic*, *Cities* e *Landscape and Urban Planning* permitiram a análise de pesquisas originais que tratam do assunto em diversos contextos. Adicionalmente, dissertações (BRASILEIRO, 2017; BRITO, 2016; PINTO, 2013; MACHADO, 2006; MOREIRA, 2009; NAGEM, 2004; SIMÕES, 2014; ZAJARKIEWICCH, 2010) também foram consultadas por apresentarem diferentes metodologias de estudo e auxiliarem na estrutura geral do texto.

2.1 NORMAS E LEGISLAÇÕES

Normas e legislações referentes à poluição sonora ajudam a entender o contexto ao qual o ruído está inserido na sociedade. De acordo com a Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), um dos atos lesivos ao meio ambiente é a emissão sonora excessiva, que é considerada crime. Segundo as resoluções nº 001/1990 e nº 252/1999 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os ruídos que apresentam níveis sonoros acima do recomendado pela NBR 10.151 (ABNT, 2019) prejudicam o sossego e a saúde física e mental da população (CONAMA, 1990a, 1999). No Brasil, diversas resoluções e normas referentes à preservação do meio ambiente e ao controle do ruído ambiental (CONAMA e ABNT, por exemplo) foram publicadas com o objetivo de estabelecerem parâmetros que devem ser adotados como referência pelas legislações municipais (BRASILEIRO, 2017). Dentre outros aspectos, elas tratam do ruído urbano

de forma geral, sem especificar os limites máximos de ruído a ser emitidos por veículos automotores (CONAMA, 1990a, 1990b), e também auxiliam nos cálculos e medições do tempo de reverberação e nível de pressão sonora interno e externo (ABNT, 1992, 2017a, 2017b, 2019).

Em âmbito estadual, a Lei nº 7.302 (MINAS GERAIS, 1978) considera prejudicial à saúde, à segurança e ao sossego humano qualquer nível que ultrapasse 10 dB do ruído de fundo existente no local, sem tráfego, ou que, independentemente do ruído de fundo, atinja um nível superior a 70 dB durante o dia e 60 dB durante a noite. Além disso, a mesma lei proíbe, dentre outros tópicos, ruídos produzidos por veículos sonoros utilizados para anúncios e propagandas em determinados horários e dias da semana e produzidos em conjuntos residenciais e comerciais, seja por animais, instrumentos musicais ou viva voz que incomodem a vizinhança.

Em Juiz de Fora-MG, cidade em que a universidade está inserida, ainda não há nenhuma regulamentação feita especialmente para o município estipulando limites de ruído, sendo o Plano Diretor (Lei complementar nº 082) o único documento que discorre sobre o assunto ao citar, no Art. 25, que buscará o combate à poluição sonora e visual como parte de sua Política Ambiental (PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA, 2018). Assim, observa-se que ainda há uma falta de política urbana brasileira atual que discorra eminentemente sobre o tema para que seja válida a sua devida aplicação na prática.

Internacionalmente, as principais normas da *International Organization for Standardization* (ISO) que abordam os métodos e instrumentações de cálculo, medição e avaliação da propagação do som ao ar livre e dentro de salas são:

- a) ISO 1996-2/2017 - *Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 2: Determination of sound pressure levels*;
- b) ISO 1996-1/2016 - *Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures*;
- c) ISO 18233/2006 - *Acoustics — Application of new measurement methods in building and room acoustics*;
- d) ISO 9613-2/1996 - *Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 2: General method of calculation*;
- e) ISO 9613-1/1993 - *Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*;
- f) ISO 1996-3/1987 - *Acoustics — Description and measurement of environmental noise — Part 3: Application to noise limits*.

Para esta pesquisa foram utilizadas três principais normas nacionais sobre o assunto, além de uma recomendação internacional da WHO:

- a) NBR 10.151/2019 - Acústica - medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - aplicação de uso geral;
- b) NBR 10.152/2017 - Acústica - níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações;
- c) NBR 12.179/1992 – Tratamento acústico em recintos fechados;
- d) recomendação internacional da WHO (1999) - *Guidelines for Community Noise*.

A NBR 10.151 (ABNT, 2019) identifica as técnicas a serem adotadas na execução de medições de NPS em ambientes internos e externos às edificações de áreas habitadas. Além disso, explicita os limites e as formas de avaliação dos resultados em função da finalidade de uso e ocupação do solo, visando a boa qualidade de vida da população. Tal avaliação deve ser feita de acordo com as características das fontes sonoras estudadas, sendo considerados aceitáveis os níveis que não ultrapassem os limites estipulados em função dos tipos de áreas habitadas e período do dia. Neste trabalho, foi utilizada a “Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas” (Tabela 1) com limites de NPS diurno de 50 dB e noturno de 45 dB, avaliados pelo método simplificado que é utilizado para medições de nível de pressão sonora global, em ambientes externos, com o intuito de identificar os sons contínuos.

Tabela 1 - Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período

Tipos de Áreas Habitadas	RL _{Aeq} Limites de Níveis de Pressão Sonora (dB)	
	Período Diurno	Período Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10.151 (ABNT, 2019).

Já a NBR 10.152 (ABNT, 2017a) estabelece os procedimentos que devem ser aplicados às medições de NPS somente em ambientes internos a edificações, com seus respectivos valores de referência para avaliação dos resultados, também em função da finalidade de uso, como na NBR 10.151 (ABNT, 2019). Admite-se uma tolerância de até 5 dB para os valores de referência estipulados de acordo com suas finalidades de uso. Para o estudo, utilizou-se a finalidade “Sala de aula”, com limite de 35 dB (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores de referência para ambientes internos de uma edificação de acordo com suas finalidades de uso

Finalidade de Uso	Valores de Referência		
	RL _{Aeq} (dB)	RL _{ASmax} (dB)	RL _{NC}
Educação			
Circulações	50	55	45
Berçário	40	45	35
Salas de aula	35	40	30
Salas de música	35	40	30

Fonte: NBR 10.152 (ABNT, 2017a), adaptado pelo autor (2020).

Por sua vez, a NBR 12.179 (ABNT, 1992) fixa os critérios para execução de tratamentos acústicos em recintos fechados, destinado ao conforto humano. Para isso, é necessário conhecer o NPS externo ao local que está sendo analisado, o NPS interno do próprio local e as especificações técnicas de dimensões e materiais empregados no

ambiente. O tratamento possui uma tolerância de até 10% dos coeficientes de absorção dos materiais. Para o tratamento correto, é feito o cálculo do tempo de reverberação (TR), que é o intervalo de tempo necessário para que o nível de intensidade de determinado som decresça em 60 dB. O TR ideal de um ambiente depende do seu volume e finalidade (MARCHETE; CUNHA, 2015). Para uma boa inteligibilidade da fala em salas de aula, o recomendado é de um TR = 0,5s (SANTANA *et al.*, 2011). A norma adota, para o cálculo do tempo de reverberação, a fórmula de Sabine:

$$T = (0,161 * V) / A \quad \text{Equação 1}$$

$$A = \sum (\alpha_i * s_i) \quad \text{Equação 2}$$

T representa o tempo de reverberação expresso em segundos, V indica o volume das salas analisadas (expressa em m³), e A é o somatório das áreas das superfícies expressas em m₂ (s_i) vezes os coeficientes de absorção sonora dessas superfícies (α_i).

Por fim, a recomendação da WHO (1999) estipula os níveis máximos aceitáveis de exposição ao ruído, considerando a audição humana. Para esta pesquisa, foi usado o limite de 55 dB considerando “*Outdoor living área*”, que pode causar um incômodo moderado a grave durante todo o período do dia e da noite se em uma exposição de até 16 horas. Para os ambientes internos, utilizou-se a especificação de ambiente “*School class rooms & preschools, indoors*”, com limite de 35 dB para janelas abertas durante o horário das aulas (Tabela 3).

Tabela 3 - Orientações para ruído na comunidade segundo WHO (1999)

Ambiente Específico	Efeito(s) Crítico(s) para a Saúde	Laeq (dB)	Período de Tempo (Horas)
Área externa	Incômodo grave, dia e noite	55	16
	Incômodo moderado, dia e noite	50	16
Ambientes internos de salas de aula e pré-escolas	Perturbação do sono, janela aberta (valores externos)	35	Durante a aula

Fonte: WHO (1999), adaptado pelo autor (2020).

Tabela 4 – Tabela resumo quanto aos limites sonoros recomendados adotados nesta pesquisa

Limites Adotados (dB)		
	Amb. Interno	Amb. Externo
NBR 10.151 (ABNT, 2019)	-	50
NBR 10.152 (ABNT, 2017a)	35	-
WHO (1999)	35	55

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

2.2 O RUÍDO EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO

Não são muitos os estudos nacionais e internacionais que tiveram o objetivo de analisar o ruído em ambientes internos e externos de instituições educacionais, se comparados às pesquisas sobre os outros tipos de conforto ambiental que existem. Alguns deles são apresentados a seguir, subdivididos em análises externas e internas às construções de ensino, apontando, ao final, algumas possíveis medidas mitigadoras citadas pelos próprios autores.

2.2.1 Ruído em ambientes externos em instituições de ensino

Pesquisas que utilizaram a simulação computacional para mapear o ruído nas áreas externas de instituições de ensino no Brasil (MAGIOLI; TORRES, 2018; MORAES *et al.*, 2013; ZANNIN *et al.*, 2013) e no exterior (ÇOLAKKADIOĞLU *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2019) mostraram que os níveis de pressão sonora dos respectivos *campi* analisados estavam acima do estabelecido pelas suas normas locais. Foram identificados ainda que o tráfego de veículos nas vias internas e externas às instituições e as conversas entre pessoas que transitam ao redor dos edifícios se configuram como os principais agentes causadores de ruído. Em alguns casos específicos, o maior volume de ruído seria ferroviário.

Magioli e Torres (2018) fizeram tanto a inserção dos dados em software quanto as medições *in loco* para, posteriormente, poderem comparar os resultados do nível de pressão sonora simulado e real. A maior diferença entre os valores correlacionados foi de 7 dB em um ponto próximo a um alojamento da universidade que apresentou o menor registro medido e um dos menores simulados. Apesar de esse valor ser considerado muito discrepante, não invalidou o restante dos pontos por ter sido o único

com uma diferença alta entre níveis de pressão sonora. Nesse caso, possivelmente o ideal seria refazer a metodologia de coleta de dados e medição naquele local em específico. Dessa forma, as medições foram feitas no entorno externo ao acesso do *campus* e apresentaram uma faixa de 57 a 71 dB, ao passo que o limite estipulado seria de 50 a 60 dB, dependendo do ponto, sendo que apenas um se enquadrou nessa recomendação. Esse grande intervalo de NPS pode ser explicado devido ao fato das rodovias estudadas terem um elevado fluxo de veículos, com velocidade alta permitida, em contraponto a outras vias incluídas no estudo que eram secundárias.

Já no caso de Zannin *et al.* (2013) e Moraes *et al.* (2013), não houve discrepâncias significativas entre os pontos simulados e reais. Em ambos, o intervalo não passou de 4 dB. No estudo de Moraes *et al.* (2013), a faixa de NPS do período da manhã se assemelha com a de Magioli e Torres (2018) apresentando mínima de 57 dB e máxima de 63 dB, o que significa estar acima do recomendado utilizado pelos autores. Para eles, a pouca variação se dá pelo fluxo constante do local estudado, distribuindo o ruído uniformemente. Já a tarde, o intervalo de NPS é maior, de 49 a 61 dB, possivelmente devido ao aumento de temperatura na cidade, fazendo com que haja mais uso do ar condicionado e, conseqüentemente, gerando mais ruído pela central do equipamento.

Assim como Magioli e Torres (2018) e Moraes *et al.* (2013), no estudo de Zannin *et al.* (2013) os níveis de pressão sonora também ficaram em torno de 60 a 70 dB, sendo os prédios mais próximos do acesso principal e vias de automóveis os mais atingidos. Nesse caso, os autores fizeram a aplicação de questionário para 389 estudantes que passavam pelos caminhos externos aos edifícios. Os autores viram que, apesar do alto nível de ruído na maioria dos pontos, no geral os usuários se mostraram incomodados mas caracterizaram o ruído como tolerável, sendo que a maioria tem dificuldades de concentração. Os sons mais marcantes, para todos eles, seriam o de tráfego rodoviário e conversa entre pessoas.

Diferentemente das pesquisas brasileiras, o estudo de Çolakkadioğlu *et al.* (2018) obteve resultados das zonas de ruído utilizando apenas o software através da coleta de dados em campo. Viu-se que, assim como nas instituições de ensino do Brasil, a universidade analisada nesse artigo também obteve sua maioria de pontos acima do nível de pressão sonora adequado a norma específica do local. Nesse caso, o registro chegou até a 65 dB também devido ao alto fluxo de automóveis. Observou-se um aumento no NPS em relação a um outro estudo que já havia sido feito em 2010 no mesmo *campus*, devido ao desenvolvimento do local e aumento do fluxo de usuários,

porém, mesmo há 8 anos, os valores tiveram um intervalo de níveis de pressão sonora semelhante.

Outras pesquisas optaram por não demonstrar seus resultados por meio dos softwares que geram mapas sonoros e sim por mostrar através de gráficos e/ou tabelas (AL-MOSAWE; ALOBAYDI; ALBAYATI, 2018; KRUMENAUER; KINZEL; GONZALEZ, 2015; THATTAI *et al.*, 2017) ou ainda fazer um mapa manual (OZER; ZENGIN; YILMAZ, 2014). Nesses casos, todos os pontos de medição apresentaram valores além do permitido pelas respectivas normas utilizadas. Na Universidade da Turquia (OZER; ZENGIN; YILMAZ, 2014) os níveis atingiram uma média de até 62 dB nos três períodos analisados, ultrapassando 7 dB do permitido pela norma usada (55 dB). O ponto de maior NPS se encontra próximo às instalações esportivas do *campus*. Em contrapartida, Krumenauer, Kinzel e Gonzalez (2015) tiveram uma alta variação de 53 a 75 dB no nível de pressão sonora, excedendo o limite estipulado de 50 dB. Assim como no estudo brasileiro (KRUMENAUER; KINZEL; GONZALEZ, 2015), no Iraque, Al-Mosawe, Alobaydi e Albayati (2018) também tiveram uma alta faixa de NPS, indo de 50 a 90 dB, sendo que o limite estipulado era de 35 dB. Mas, assim como Al-Mosawe, Alobaydi e Albayati (2018), o estudo de Thattai *et al.* (2017) também atingiu um alto NPS, sendo que o pico chegou até 106 dB devido à presença de uma linha férrea a 5km de distância do *campus*. Ademais, o principal agente causador foi similar a todas as pesquisas acima: o automóvel. Isso ocorreu, segundo os autores de todos os estudos, pelo alto fluxo automobilístico, velocidade alta dos automóveis, distância dos prédios em relação às vias e pela localização das instituições na cidade, próximas ao centro urbano e à ferrovia.

2.2.2 Ruído em ambientes internos em instituições de ensino

Na China, Li *et al.* (2019) analisaram um *campus* que já havia sido projetado com uma estação ferroviária a 300m de distância da universidade, por isso as salas de aula foram locadas no quarto pavimento das edificações, a aproximadamente 12m acima do solo. Além disso, tais edificações têm proteções contra o som e ainda servem como barreiras acústicas, formando uma área de sombra sonora atrás delas. Assim, analisando durante 1h, os autores viram que os valores internos registraram de 48 a 50 dB, estando de acordo com a norma utilizada no estudo que exige um limite de 55 dB para *campus* universitário. Porém, quando há a presença de trem na ferrovia, o NPS desses ambientes é superior a 70 dB, considerado muito elevado, principalmente para

uma área institucional. Nesse caso, vê-se uma grande diferença nos valores quando há medição interna e externa aos ambientes em relação às ferrovias quando compara-se o $L_{AFeqmax}$ do estudo de Li *et al.* (2019) com o de Thattai *et al.* (2017) que apresentou um NPS de 106 dB, mesmo a uma distância considerável do *campus* à linha férrea de 5km. Essa discrepância pode ter sido maior também pelo fato dos prédios da universidade da China já terem um certo tratamento acústico.

Li *et al.* (2019) perceberam ainda que as salas que têm esquadrias diretas para a ferrovia apresentaram um valor de 3 dB acima que as outras que não possuem essa abertura. A atenuação das janelas laterais é de 2 dB em relação às janelas frontais. Por fim, por meio de um questionário aplicado a 50 voluntários, os autores mostraram que esses altos valores têm impactos negativos no desempenho dos alunos. 36% dos estudantes afirmam que não conseguem se concentrar quando há um trem na ferrovia; 52% dizem se afetar, mas não seriamente; e, apenas 12% relatam não se sentirem prejudicados com esse ruído.

As salas analisadas por Marchete e Cunha (2015) tiveram uma diferença discrepante em relação às suas situações no momento de medição. Enquanto as salas estavam ocupadas, nenhum dos pontos apresentou um NPS menor que 60 dB, tanto com as janelas abertas quanto fechadas, sendo que no período da noite, com as janelas fechadas e salas ocupadas por 15 pessoas, o registro chegou até a 77 dB em um ambiente que possui o maior tempo de reverberação do estudo em questão, com 2,11s. Já quando vazias, o maior NPS foi de 57 dB, com as janelas abertas, que também ultrapassa o recomendado (40 dB), porém apresenta um $TR = 0,58s$, demonstrando, então, uma absorção maior do som. O menor NPS foi de 34 dB nos períodos da manhã e noite, com as janelas fechadas.

John, Thampuran e Premlet (2016) mostraram que a faixa de NPS das salas analisadas ficou entre 60 e 65 dB dependendo do tipo de ambiente, valor próximo à pesquisa brasileira de Marchete e Cunha (2015). Nesse estudo do exterior, as salas foram diferenciadas em “modernas” e “vernáculas”, com materiais naturais. Notou-se que as modernas tiveram 4 dB a menos que as vernáculas, sendo a média de 60 e 64 dB, respectivamente. Para os autores, isso pode ser explicado de acordo com as observações que eles fizeram no local vendo a existência de frestas entre as esquadrias e alvenaria nas salas vernáculas, promovendo a transmissão do ruído. Nessas mesmas salas, a proporção de área de janela em relação à área total da parede é maior que nas salas modernas. Em ambas tipologias, o TR ficou acima do ideal com 1,29s (vernácula) e 1,76s (moderna). Através de um questionário aplicado a 137 alunos

e professores, os autores viram que, diferentemente do *campus* estudado por Li *et al.* (2019) a principal fonte de ruído vem do tráfego rodoviário e a segunda é o som das pessoas que estariam no ambiente contíguo, dividindo parede. Dentre os professores, 83% afirmaram ter que falar mais alto devido ao ruído e 38% disseram ter dores de garganta. 89% preferiam lecionar nas salas modernas por considerá-las acusticamente mais confortáveis mesmo com as medições indicando variações nos dados acústicos de NPS.

2.2.3 Propostas de mitigação do ruído nos ambientes externos e internos

Apesar de sua análise ser interna, Li *et al.* (2019) propuseram três soluções externas ao ambiente que se ligam ao tráfego ferroviário: aplicação de barreiras acústicas ao redor das ferrovias, no trecho em que há uma instituição de ensino; redução da velocidade dos trens ao passar pela área de ensino; e revisão da norma do país que discorra sobre os limites de ruído de modo que o nível de pressão sonora equivalente não seja o único indicador de avaliação para esses locais.

No estudo de Sun *et al.* (2015), foram feitas várias sugestões em relação ao layout do *campus*. Os autores afirmam que ao projetar, deve-se ficar atento à concentração das áreas administrativa e de ensino para que não haja atividades muito ruidosas entre elas, atrapalhando umas às outras. Para eles, a presença de um cinturão verde seria uma boa solução nessas áreas. Outra sugestão seria alocar os alojamentos estudantis de forma descentralizada da zona de estudo para poder espalhar o tráfego nos horários de pico. E, por fim, restringir o tráfego rodoviário no *campus* e ainda pavimentar as calçadas com material de absorção acústica.

Ao analisar os dados, Magioli e Torres (2018) sugeriram algumas intervenções na fonte e no receptor considerando a área externa do *campus* como o uso de vegetação para diminuir o estresse psico-acústico, priorização do transporte coletivo, investimento em transporte ativo (ciclovias e passeios cobertos para pedestres), utilização de materiais absorventes nas fachadas das construções, estudo prévio quanto ao posicionamento das edificações na implantação, planejamento e gerenciamento do uso de solo de acordo com as zonas de conforto, atribuindo limites máximos de ruído para todos os usos, dentre outros.

Ozer, Zengin e Yilmaz (2014) selecionaram formas de mitigação que já haviam sido testadas em outras universidades. Algumas sugestões também voltadas às fontes e aos receptores foram restrições no número de automóveis que têm acesso ao

campus, desvio dos veículos para um bolsão de estacionamento longe das edificações, reorganização do tráfego para terem acesso somente onde já exista barreiras acústicas na região, plantação de uma larga massa vegetativa, dentre outros.

Já nos ambientes internos, apenas Marchete e Cunha (2015) que selecionaram algumas medidas para diminuição do ruído de acordo com o resultado da medição e do cálculo do tempo de reverberação das salas. Estas foram o uso de esquadrias com alto índice de redução acústica, pisos emborrachados e substituição da placa de gesso para materiais mais absorventes dentro das salas de aula.

Abaixo, um quadro resumo de todos os autores estudados no item 2.2.

Quadro 1 - Resumo de todos os autores estudados no item 2.2.

(continua)

AUTORES	ANO	LOCAL DE ESTUDO	MÉTODOS USADOS	PRINCIPAIS RESULTADOS
Al-Mosawe, H. Alobaydi, D. Albayati, A.	2018	Universidade de Bagdá - Iraque	- Medições <i>in loco</i> : 7 pontos distribuídos externamente	- NPS externo= 50 a 90 dB - Principal fonte sonora: tráfego rodoviário
Çolakkadıoğlu, D. Yücel, M. Kahveci, B. Aydınoğlu, Ö.	2018	Universidade em Çukurova - Turquia	- Medições <i>in loco</i> : 11 pontos distribuídos externamente - Mapeamento sonoro em software	- NPS externo= 35 a 65 dB - Principal fonte sonora: tráfego rodoviário
John, J. Thampuran, A. Premlet, B.	2016	Escola em Quelara - Índia	- Medições <i>in loco</i> : 3 pontos distribuídos internamente - Aplicação de questionário: 137 voluntários	- NPS interno (sala moderna) = 58 a 63 dB - NPS interno (sala vernácula) = 59 a 68 dB - Principal fonte sonora: tráfego rodoviário - Os TRs calculados nas duas tipologias estão acima do ideal - 38% dos professores tem dores de garganta - 89% dos professores preferem lecionar nas salas modernas
Krumenauer, M., Kinzel, E., Gonzalez, M. S.	2015	Universidade do Vale do Rio dos Sinos - RS	- Medições <i>in loco</i> : 12 pontos distribuídos externamente	- NPS externo= 53 a 73 dB - Principal fonte sonora: tráfego rodoviário

(continuação)

AUTORES	ANO	LOCAL DE ESTUDO	MÉTODOS USADOS	PRINCIPAIS RESULTADOS
Li, F. Wu, M. Lai, C. Chen, S. Xu, Y. Du, C. Cai, M. Liu, J.	2019	Universidade em Haizhu – China	- Medições <i>in loco</i> : 4 pontos distribuídos externamente 4 pontos distribuídos internamente - Aplicação de questionário: 50 voluntários	- NPS interno = 47 a 66 dB - NPS externo= 48 a 79 dB - Principal fonte sonora: tráfego ferroviário - 36% das pessoas se dizem afetadas quanto ao seu desempenho acadêmico - 12% dizem não se afetar pelo ruído
Magioli, F. Torres, J.	2018	Universidade Federal do Rio de Janeiro, Ilha do Fundão - RJ	- Medições <i>in loco</i> : 13 pontos distribuídos externamente	- NPS externo= 57 a 71 dB - Principal fonte sonora: tráfego rodoviário
Marchete, A. Cunha, A.	2015	Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Colatina – ES	- Medições <i>in loco</i> : 3 pontos distribuídos internamente	- NPS interno (salas ocupadas) = 60 a 76 dB - NPS interno (salas vazias) = 34 a 57 dB - Principal fonte sonora: não mencionado - Todas as salas tiveram um TR acima do ideal
Moraes, E. Melo, G. Ramos, D. Uakti, M.	2013	Universidade Federal do Pará – PA	- Medições <i>in loco</i> : 15 pontos distribuídos externamente Mapeamento sonoro em software	- NPS externo (período da manhã) = 56 a 63 dB - NPS externo (período da tarde) = 49 a 61 dB - Principais fontes sonoras: tráfego rodoviário e maquinários
Ozer, S. Zengin, M. Yilmaz, H.	2014	Universidade de Ataturk – Turquia	- Medições <i>in loco</i> : 13 pontos distribuídos externamente	- NPS externo (período da manhã) = 53 a 67 dB - NPS externo (período da tarde) = 53 a 67 dB - NPS externo (período da noite) = 53 a 68 dB - Principal fonte sonora: tráfego rodoviário

(conclusão)

AUTORES	ANO	LOCAL DE ESTUDO	MÉTODOS USADOS	PRINCIPAIS RESULTADOS
Sun, K. Liang, X. Botteldooren, D. Coensel, B.	2015	Universidade de Tianjin - China	- Medições <i>in loco</i> : 24 pontos distribuídos externamente - Aplicação de questionário: 64 voluntários	- NPS externo= 51 a 64 dB - Principais fontes sonoras: tráfego rodoviário e de pedestres - Para os voluntários, os principais problemas de ruído são o alto fluxo de automóveis e o compartilhamento da via entre veículos-bicicletas
Thattai, D. Sudarsan, J. Sathyanathan R. Ramasamy, V.	2017	Universidade de Kanchipuram - Índia	- Medições <i>in loco</i> : 24 pontos distribuídos externamente	- NPS externo= 52 a 106 dB - Principal fonte sonora: tráfego ferroviário
Zannin, P. Engel, M. Fiedler, P. Bunn, F.	2013	Universidade Federal do Paraná - PR	- Medições <i>in loco</i> : 58 pontos distribuídos externamente - Mapeamento sonoro em software - Aplicação de questionário: 389 voluntários	- NPS externo= 53 a 74 dB - Principais fontes sonoras: tráfego rodoviário e de pedestres - 43% das pessoas tem dificuldade de concentração - 49% classificam o ruído como tolerável

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

2.3 METODOLOGIAS PARA A AVALIAÇÃO DO MAPEAMENTO SONORO

Para a identificação das zonas ruidosas, em relação às zonas calmas, a *European Environment Agency* (2014) sugere quatro formas de investigação: (1) mapeamento do ruído por simulação, (2) medições *in loco*, (3) avaliação das experiências dos usuários e (4) avaliação de especialistas:

- a) (1) No mapeamento desenvolvido por meio de **simulação computacional** é possível se ter uma apresentação visual de fácil interpretação já que o software indica a distribuição dos NPS de diferentes fontes, em uma determinada região, por um período específico de tempo. Com ele, torna-se viável o correto planejamento urbano de uma cidade, por exemplo. Uma limitação desse sistema

- é que os mapas de ruído são baseados em modelos matemáticos, sob condições pré-estabelecidas, deixando-o passível a alguns desvios nos resultados e não correspondendo à total realidade;
- b) (2) Também é importante que estes mapas sejam validados por **medições locais reais**, de forma a complementar as modelagens. Por serem medidas em um determinado local e momento, elas são um reflexo melhor da realidade, obtendo dados mais precisos do NPS. Porém tal alternativa demanda muito mais tempo e equipamentos para que seja concluída;
 - c) (3) Por meio da **avaliação dos usuários** pode-se conseguir informações importantes sobre a percepção das pessoas frente ao espaço de interesse e sua qualidade acústica, atrelada, principalmente, à qualidade visual. Como exemplo, um ambiente verde e florido pode aumentar a qualidade acústica e reduzir o incômodo do ruído de um lugar somente pelo fato de ser agradável visualmente. Tais efeitos psicológicos são incapazes de serem capturados através de medições. Um aspecto negativo desse recurso é que também demanda tempo tanto para ser elaborado quanto aplicado, além de depender da participação de voluntários para responder os questionários;
 - d) (4) Já as **avaliações de especialistas** podem contribuir com informações importantes além do nível de pressão sonora, ajudando a alcançar um resultado mais completo do que somente a coleta de dados sobre o ruído. Esses podem ser de planejadores urbanos e arquitetos, ou até mesmo biólogos e psicólogos (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2014).

Análises feitas em instituições de ensino quanto ao impacto da poluição sonora no Brasil e no exterior utilizaram metodologias semelhantes para a identificação do ruído, optando, principalmente, pela aplicação dos itens (1) mapeamento do ruído por simulação e (2) medições *in loco* sugeridos pela *European Environment Agency* (2014). Contudo o número de pesquisas diminui quando se trata da utilização das demais estratégias envolvendo análise de usuários e especialistas.

2.3.1 Mapeamento do ruído por simulação computacional

A criação de mapas de ruído é útil tanto para avaliar se o nível de pressão sonora está em acordo com o uso e ocupação do solo, quanto para fornecer informação sobre o quadro de ruído atual e futuro de determinada região (BRASILEIRO, 2017). Os principais softwares de simulação computacional, como CadnaA (ALETTA; KANG,

2015; GIUNTA; SOUZA, 2011; MAGIOLI; TORRES, 2018), Predictor (MORAES *et al.*, 2013; NAVARRO; BRUNA, 2015; SZEREMETA; ZANNIN, 2015; ZANNIN *et al.*, 2013) e SoundPLAN® (BRASILEIRO, 2017; ÇOLAKKADIOĞLU *et al.*, 2018; FLORENCIO *et al.*, 2017; NOWOŚWIAT *et al.*, 2018), ilustram o cenário acústico em desenhos ortogonais, como plantas baixas, cortes, vistas e fachadas.

Para isso, é preciso inserir, no próprio software, dados sobre o tráfego e a tipologia física do local, além de elaborar uma modelagem espacial 2D ou 3D da área estudada com a demarcação do limite, da malha viária, das áreas construídas e verdes, dos estacionamentos e da localização dos pontos de medição. Para essa etapa, usa-se, normalmente, as ferramentas dispostas nos softwares de georreferenciamento ou, até mesmo, o programa AutoCAD®. Diversas pesquisas voltadas às medições externas utilizaram dessa estratégia de mapas sonoros, seja por software ou manualmente, como apontado neste item 2.3.1. No presente estudo, não foi adotada a simulação computacional, utilizando-se apenas de representação gráfica.

2.3.2 Medições *in loco*

O método aplicado para essa estratégia costuma ser semelhante entre as pesquisas que avaliam ambientes externos e internos, de acordo com as normatizações e com os objetivos de cada estudo. No geral, é necessário decidir a locação dos pontos de medições e o tempo mínimo de medição por ponto. As normas NBR 10.151 (ABNT, 2019) e NBR 10.152 (ABNT, 2017a) estipulam que esses pontos sejam posicionados nas áreas mais ruidosas, onde se percebe maiores níveis de ruído, “distribuídos de modo a possibilitar a representação do campo sonoro do ambiente em avaliação” (ABNT, 2017a). No caso de ambientes internos, sugere-se a distribuição de pelo menos 3 pontos medidos em alturas diferentes.

Pesquisas recentes têm utilizado medições sonoras *in loco* e cálculos logaritmos baseados no tipo de fonte geradora e nas condições do ambiente para identificar a propagação do som entre fonte e receptor (JOHN; THAMPURAN; PREMLET, 2016; THATTAI *et al.*, 2017). O mapeamento sonoro local tem se mostrado uma ferramenta útil para simular e avaliar o nível de exposição da população ao ruído (WHO, 2011) e detectar áreas que necessitam de planos de ação (ALETTA; KANG, 2015; MAGIOLI; TORRES, 2018; ZANNIN *et al.*, 2013).

Das pesquisas que tiveram o objetivo de realizar medições externas em instituições de ensino, Magioli e Torres (2018) fizeram uma distribuição de 13 pontos

em um *campus* universitário em função das áreas residenciais, das vias de acesso aos principais edifícios, do fluxo de veículos nos horários de pico e próximos a um hospital e a uma creche. Assim como nesse estudo, a disposição dos pontos de Krumenauer, Kinzel e Gonzalez (2015), Moraes *et al.* (2013), Thattai *et al.* (2017), Çolakkadioğlu *et al.* (2018) e Ozer, Zengin e Yilmaz (2014) também foi feita de acordo com as vias de fluxo intenso que rodeiam os respectivos *campi* analisados, com média de 12 pontos por estudo. Como exceção, Zannin *et al.* (2013) e Nagem (2004) optaram por distribuir os pontos em toda a área de estudo, a fim de caracterizar o ruído dos *campi* como um todo, totalizando 58 e 28 pontos, respectivamente.

O horário de medição variou em faixas como manhã, tarde e noite em todos os estudos, de acordo com seus critérios. Dentro dessas faixas, a duração do tempo de cada ponto também variou entre as pesquisas, indo de 3 a 24 minutos nas análises em *campus* universitário. Algumas recomendações determinam que 1 minuto (YANG, KANG, 2005; ZHANG *et al.*, 2018), 3 minutos (JOHN, THAMPURAN, PREMLET, 2016; ZANNIN *et al.*, 2013) ou até 30 minutos (CALLEJA *et al.*, 2017) são necessários para uma avaliação adequada entre os pontos. Em instituições, Zannin *et al.* (2013) utilizaram do menor tempo analisado (3 min) pois identificaram que a variação no nível de pressão sonora resultante é insignificante durante 3 minutos, 15 minutos ou 1 hora.

Após as medições, a maioria dos estudos compararam os valores registrados do NPS com normatizações locais específicas, no caso do Brasil, a NBR 10.151. As exceções foram o estudo de Zannin *et al.* (2013) que optaram por utilizar apenas uma recomendação da WHO (1999) como base e Thattai *et al.* (2017) que não compararam seus resultados com nenhum limite estipulado, mostrando somente o pico dos seus níveis de pressão sonora. Magioli e Torres (2018), por outro lado definiram como análise tanto a normativa nacional NBR 10.151 (versão de 2003) quanto a recomendação internacional da WHO (1999).

Quanto aos ambientes internos, os estudos objetivam conhecer o impacto que o ruído externo traz para dentro dos recintos. Porém, o critério de escolha das salas e a forma de medição varia entre as pesquisas, de acordo com a localização no *campus* e o acabamento interno. O número de salas avaliadas variou entre 1 (PENTEADO; NETO, 2017), 3 (MARCHETE; CUNHA, 2015), 4 (NTUI, 2009) e 10 (JOHN; THAMPURAN; PREMLET, 2016). Os ambientes se diferenciaram em ocupados e vazios (MARCHETE; CUNHA, 2015) ou somente em atividades (JOHN; THAMPURAN; PREMLET, 2016; NTUI, 2009; PENTEADO; NETO, 2017). Foram diferenciados ainda salas com as janelas abertas e fechadas (MARCHETE; CUNHA, 2015; JOHN; THAMPURAN;

PREMLET, 2016) ou somente abertas (NTUI, 2009; PENTEADO; NETO, 2017). Outro fator de análise considerou o número de pontos medidos: 1 (PENTEADO; NETO, 2017) e acima de 3 pontos (JOHN; THAMPURAN; PREMLET, 2016; MARCHETE; CUNHA, 2015; NTUI, 2009). Desses trabalhos, John, Thampuran e Premlet (2016) e Marchete e Cunha (2015) calcularam, também, o tempo de reverberação das respectivas salas estudadas.

2.3.3 Avaliação das experiências dos usuários

Apesar de ser uma estratégia muito válida para a identificação de zonas calmas e de ruído de um local, a avaliação das experiências dos usuários não é utilizada com muita frequência por ser um método mais complexo já que depende da disponibilidade de um grupo de pessoas a fim de se criar uma amostra válida (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2014). Dos estudos apresentados nos tópicos anteriores, apenas Sun *et al.* (2015) e Zannin *et al.* (2013) fizeram aplicações de questionários totalizando 64 e 389 usuários, respectivamente aos *campi* para análise de ambiente externo. Já internamente, juntamente às medições do nível de pressão sonora, essa estratégia de aplicação de questionário aparece nas pesquisas de Li *et al.* (2019), Penteado e Neto (2017) e John, Thampuran e Premlet (2016) sendo uma amostra de 50, 120 e 137 voluntários, respectivamente.

Os questionários desses estudos, tanto para o ambiente externo quanto para o interno, tiveram propostas semelhantes em relação ao tipo de pergunta, sendo o interesse dos autores voltado aos dados pessoais dos voluntários em uma primeira etapa (faixa etária, gênero, problemas de audição, dentre outros) e a percepção dos mesmos quanto ao incômodo do ruído externo na segunda fase. O formato dos questionários variou em respostas subjetivas ou em escolha de escala.

2.3.4 Avaliação dos especialistas

Assim como a avaliação dos usuários, a dos especialistas também não é muito recorrente nos estudos de mapeamento sonoro. Isso ocorre, possivelmente, pelo fato de ser uma estratégia mais trabalhosa já que exige um teste de pré e pós ocupação, além de necessitar de profissionais especializados. Alguns dos estudos que propuseram medidas mitigatórias após a avaliação dos próprios autores, mesmo sem um teste de pré ou pós ocupação, foram Li *et al.* (2019), Magioli e Torres (2018), Marchete e Cunha (2015), Sun *et al.* (2015) e Ozer, Zengin e Yilmaz (2014). Nesse

método, a avaliação pode ser feita através da observação do profissional, bem como por testes em laboratório ou a campo, com a devida aplicação do material.

2.4 CONSIDERAÇÕES A PARTIR DA REVISÃO DE LITERATURA

Apesar da existência de normas e leis nacionais e internacionais com recomendações sobre os níveis de ruído adequados a diferentes localidades e atividades, a maioria das pesquisas que avaliaram os níveis de pressão sonora em instituições de ensino superior identificaram excessivo ruído em seus objetos de estudo. Viu-se que os níveis de pressão sonora nas áreas externas giraram em torno de 60 dB quando os principais agentes causadores foram o tráfego veicular e conversa de pedestres, sendo alguns picos de até mais de 100 dB para ferrovias.

Nos ambientes internos, quando o ideal, na verdade, seria um NPS de 35 a 40 dB, dependendo da norma utilizada, viu-se que os valores registrados foram maiores até que o limite estipulado para áreas livres, com intervalos de 50 dB, na média. Embora seja crucial um ambiente acusticamente confortável em instituições para permitir concentração, nos trabalhos que tiveram a participação de voluntários, foi identificado que as pessoas não se incomodam tanto com o ruído por já ser um problema enraizado no dia a dia de todos, o que realça ainda mais a importância do estudo sobre a poluição sonora.

Quanto às metodologias, optou-se por utilizar pelo menos uma das sugeridas pela *European Environment Agency* (2014): mapeamento do ruído por simulação, medições *in loco*, avaliação das experiências dos usuários ou avaliação de especialistas. Sendo que a principal forma de captação do nível de pressão sonora para análise foi a de medições *in loco*. Esse método é uma ferramenta que, além de retratar com acurácia a realidade das zonas de ruído de um local, é mais acessível que o uso da simulação computacional. Tais medições permitem a representação do ruído através de gráficos e mapas acústicos que podem ser desenvolvidos manualmente ou por meio de software.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

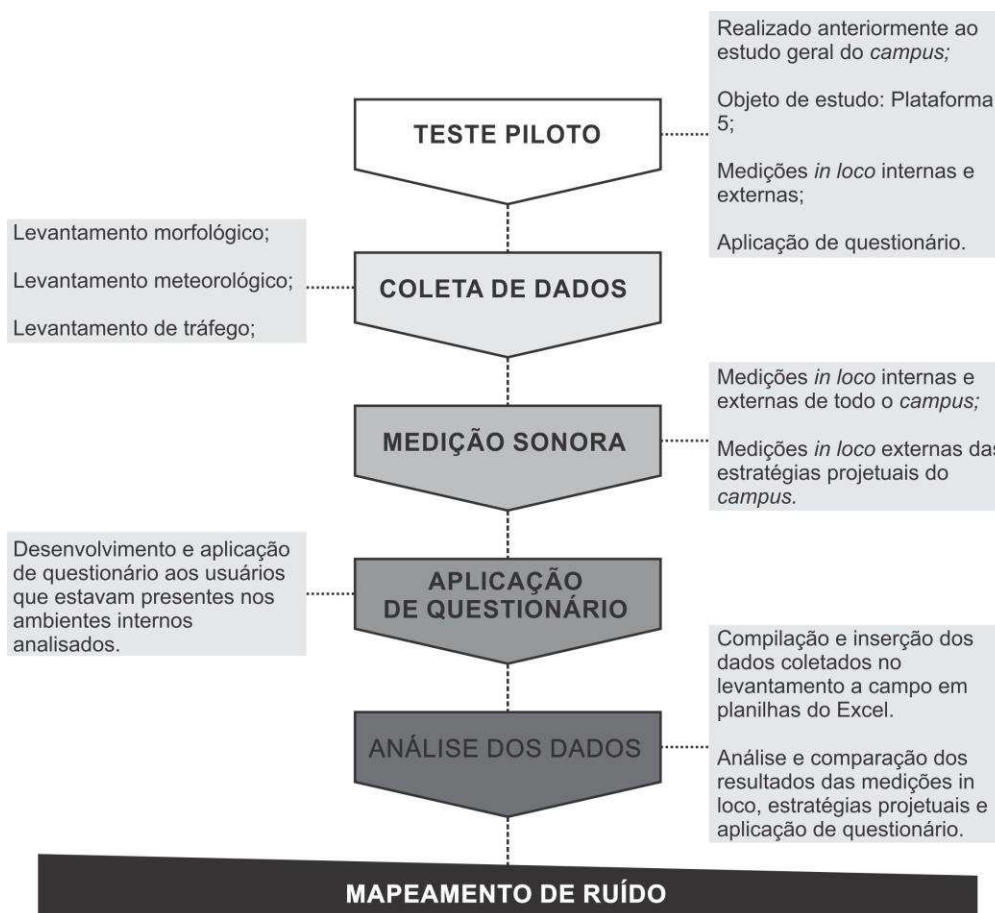
Esta pesquisa utiliza de abordagens quantitativas e qualitativas a partir da investigação documental técnica, como planta baixa do *campus* disponibilizada pela universidade, levantamento dos níveis de pressão sonora em campo, pesquisa com o usuário, compilação e análise dos dados.

Neste capítulo são apresentadas as principais etapas que fizeram parte da metodologia da pesquisa, a fim de se conseguir atingir os objetivos específicos e o geral. Estruturado em 5 subitens, o capítulo se inicia com a apresentação do recorte espacial, descrevendo as características morfológicas do *campus* em questão, bem como a relação de sua implantação com o entorno da região em que está inserido. Os outros quatro tópicos são dedicados à explicação da parte prática do trabalho e serão descritos, detalhadamente, a seguir:

- a) coleta de dados e medições *in loco*: foram feitos levantamentos morfológicos, meteorológicos e de tráfego através de pesquisa documental (desenhos técnicos) e em campo, com observações, anotações e fotografias, além de medições do nível de pressão sonora externas e internas aos edifícios para permitir o entendimento da distribuição sonora do *campus*, conhecendo-se as zonas de ruído mais e menos críticas;
- b) desenvolvimento e aplicação de questionário: feito aos voluntários presentes nos ambientes escolhidos para a análise interna. Essa etapa foi desenvolvida a partir da revisão bibliográfica e aplicada de acordo com os valores de nível de pressão sonora da área externa. Tal etapa permitiu entender o comportamento e a percepção dos usuários frente ao ruído da universidade;
- c) teste-piloto: aplicação do método de mapeamento sonoro em um perímetro menor do *campus*. Foi realizado anteriormente ao trabalho prático geral a fim de testar a metodologia, identificando possíveis falhas e corrigindo-as para a aplicação prática em todo o estudo;
- d) análise das estratégias projetuais do *campus*: julgou-se importante realizar ainda uma análise mais detalhada em pontos específicos do *campus* que caracterizariam algumas estratégias para entender se estas realmente ajudam na mitigação do ruído.

O Diagrama 1 ilustra o passo a passo de cada fase da pesquisa, listadas na ordem em que foram realizadas na prática, com a indicação das respectivas etapas sintetizadas.

Diagrama 1 - Diagrama de síntese das etapas metodológicas



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

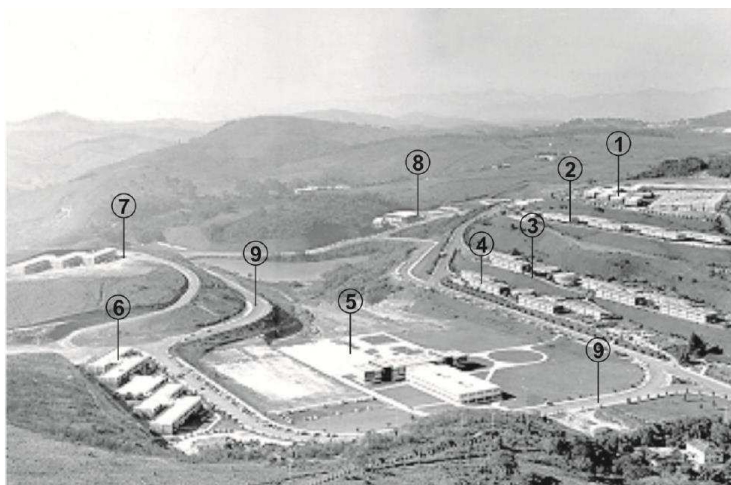
3.1 RECORTE ESPACIAL: *CAMPUS* DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

Inserido em Juiz de Fora, cidade da Zona da Mata Mineira, o *campus* sede da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), com pouco mais de 100 hectares, se localiza na região oeste da cidade, a 6 km do centro urbano (Figura 2). Com o projeto inicial datado de 1960 e assinado pelo engenheiro e arquiteto Artur Arcuri, a Instituição teve sua construção somente em 1969 (Figura 3). O *campus* da UFJF é constituído por dez plataformas principais, localizadas em níveis diferentes, aproveitando-se da topografia acentuada do local, com blocos padronizados distribuídos de forma alternada ao longo desses platôs. Essa conformação permitiu a criação de áreas verdes nas laterais e frentes das edificações, de forma a gerar ventilação e iluminação natural nos ambientes (SOUZA, 2013).

Figura 2 - Localização da UFJF no município de Juiz de Fora – MG



Sem escala. Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 3 - Vista aérea do *campus* da UFJF logo após sua implantação, em 1969

Legenda:

- | | | |
|--------------------------|-------------------------------|---|
| 1 - Setor Tecnológico; | 4 - Ciências Humanas; | 7 - Ciências da Saúde; |
| 2 - Ciências Exatas; | 5 - Centro Cívico; | 8 - Setor de Educação Física e Desportos; |
| 3 - Ciências Biológicas; | 6 - Setor de Estudos Sociais; | 9 - Anel Viário. |

Fonte: Souza (2013).

No nível topográfico mais baixo do terreno encontra-se a plataforma principal composta pela praça cívica, reitoria, biblioteca central, um bosque e um lago, envolvidos pelo anel viário que há décadas tem sido cada vez mais utilizado como ligação viária entre as regiões Centro-Sul com a região Oeste da cidade². Junto à via principal e por toda sua extensão há também uma ciclofaixa, atraindo o público da cidade para lazer e atividades físicas.

A morfologia geral é caracterizada por construções longitudinais, de gabaritos baixos com média de 2 pavimentos distribuídos entre galpões, edifícios antigos e novos. O *campus* possui edificações dispostas próximas e afastadas das vias de automóveis (de pavimentação asfáltica) e massa vegetal por toda a sua extensão (divididas em baixa, média e alta densidade). O estudo foi realizado em toda sua área edificável, nas 10 plataformas principais (Figura 4) onde são lecionadas as aulas de todas as faculdades. A seguir, é apresentada uma descrição de cada plataforma a fim de que se tenha um claro entendimento quanto a morfologia de todas as áreas:

- a) plataforma 1: é a plataforma principal, onde se encontra a reitoria, biblioteca central, praça cívica e um restaurante. Cercada por bosques e com uma extensa área de mata, essa plataforma possui uma topografia em aclave que se inicia no marco +0m até o +15m. Ao seu redor, existe o anel viário de sentido único que interliga dois acessos principais, além dos acessos às demais plataformas. Sua área é de aproximadamente 170.000m²;
- b) plataforma 2: localizada a oeste do *campus*, é a plataforma que apresenta o menor desnível em relação ao nível mais baixo da plataforma principal com topografia de +25m. Considerando o anel viário, esse desnível é de apenas +5m. A maioria de suas edificações frontais (com gabarito predominante de 2 pavimentos) possuem um afastamento mínimo em torno de 1,50m em relação a sua única via (de sentido único). Sua área é de aproximadamente 12.000 m²;
- c) plataforma 3: também a oeste do *campus*, essa plataforma tem um desnível em aclave de +40m em relação a plataforma 1. Diferente da plataforma 2,

² Os *campi* criados no Brasil na década de 1960 e 1970 tiveram como princípio a ideia de um afastamento em relação a cidade. Os planejadores pretendiam que esses espaços fossem criados em um ambiente natural, silencioso, com tráfego automotivo reduzido, com amplos espaços livres especialmente dedicados a educação superior e a pesquisa. Esses princípios foram sintetizados por Rudolph Atcon, consultor norte-americano do Ministério da Educação, que desenvolveu o primeiro manual de planejamento de *campus* universitário no Brasil (SOUZA, 2015).

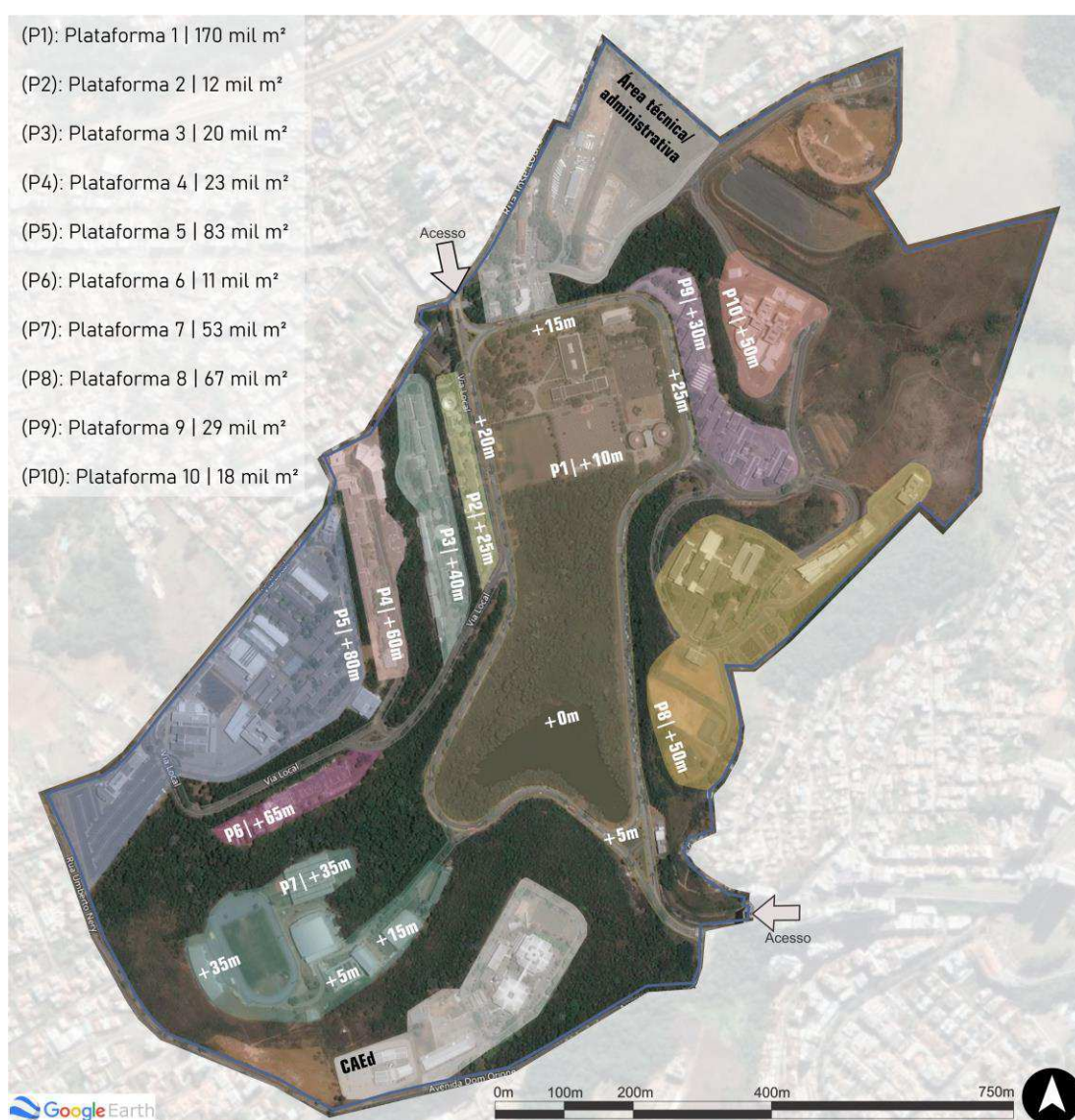
- essa se caracteriza por ter uma via de sentido único circundando todas as edificações de afastamentos entre 1,50m a 17m. Aqui, o gabarito predominante também é de 2 pavimentos. Sua área é de aproximadamente 20.000 m²;
- d) plataforma 4: possui uma via de sentido único que dá acesso à plataforma 5. Com blocos afastados entre 2 e 20m em relação a via e gabaritos de 2 pavimentos, a curva de nível dessa plataforma se encontra a +60m da base. Sua área é de aproximadamente 20.000 m²;
- e) plataforma 5: é a maior e mais alta de todas com uma área de aproximadamente 83.000m² a +80m de aclave. Todas as construções possuem afastamentos consideráveis que giram em torno de 4 a 30m em relação a via que também tem sentido único, circundando todos os blocos edificáveis. Gabarito predominante de 2 pavimentos;
- f) plataforma 6: completando o lado oeste, essa plataforma se caracteriza como a menor de todas com uma área aproximada de 11.000 m² e tem apenas uma via de sentido duplo a +65m da base. Seu gabarito é de 2 pavimentos para todas as edificações afastadas a 12m da via;
- g) plataforma 7: tal plataforma possui três desníveis em relação ao +0m, de +5m, +15m e +35m, por conta das construções de grande porte que necessitava. Como possui ginásios, quadras e campos, seu gabarito predominante é de apenas 1 pavimento, porém com pé-direito elevado. A edificação de salas de aula e coordenação possui 2 pavimentos e está a +10m em relação ao nível mais baixo dessa plataforma. Há uma via de sentido duplo que permite o acesso a essa plataforma, porém a predominância é de calçadas por toda extensão. Sua área é de aproximadamente 53.000 m²;
- h) plataforma 8: localizada no ponto mais alto à leste do *campus* (+50m), possui gabarito de 2 a 4 pavimentos, com vias de sentido único e duplo, e afastamentos que variam de 4 a 50m. Sua área é de aproximadamente 67.000 m²;
- i) plataforma 9: é a segunda mais baixa em relação às outras plataformas, atrás somente da plataforma 2, com um desnível de +30m em relação ao nível +0m, mas a somente +5m do anel viário principal. Ao redor das edificações frontais não existe nenhuma via, prevalecendo o fluxo de pedestres e

apresentando um afastamento de 9m em relação ao talude. Com gabarito de 2 a 4 pavimentos, possui uma área aproximada de 29.000 m²;

- j) plataforma 10: com aclive igual ao da plataforma 8, de +50m em relação ao nível +0m, essa plataforma possui uma via de sentido duplo que rodeia todas as edificações. Com gabarito predominante de 4 pavimentos e afastamento entre 3 e 17m, apresenta uma área de aproximadamente 18.000 m².

É importante ressaltar que, mesmo que as plataformas tenham grandes afastamentos, muitos desses são usados para estacionamento, sendo mais uma fonte de ruído.

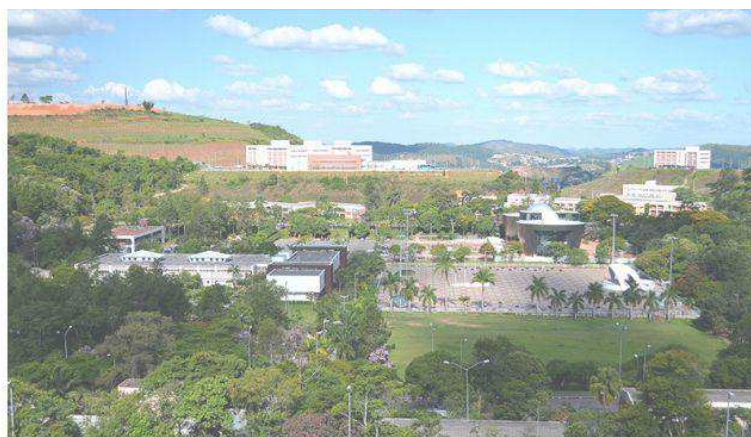
Figura 4 - Plataformas da UFJF



Fonte: Google Earth (2019), adaptado pelo autor (2020).

Percebe-se que o projeto do *campus* possui algumas estratégias que, mesmo não intencionais³, podem ajudar na mitigação da poluição sonora nas edificações, como a grande massa vegetal ao redor de áreas com topografia acentuada (estratégia 1, indicada na Foto 1); o afastamento das edificações em relação a via de automóveis (estratégia 2, indicada na Foto 2); e o uso de taludes advindo da topografia já existente, desnivelando as construções do sistema viário central (estratégia 3, indicada na Foto 3).

Foto 1 - Estratégia 1: massa vegetal



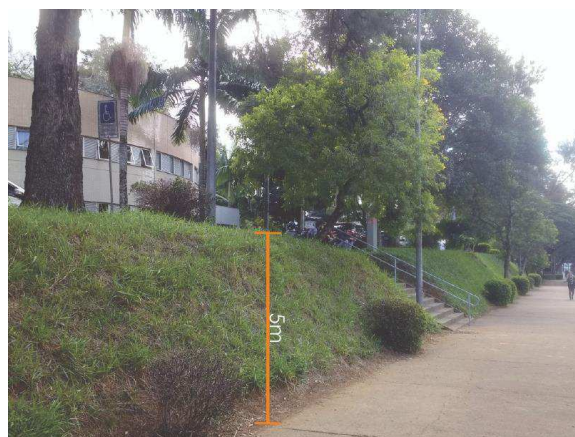
Fonte: UFJF. Acesso em: abr. 2020.

Foto 2 - Estratégia 2: afastamento das edificações



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Foto 3 - Estratégia 3: taludes



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

³ De acordo com os textos e entrevistas dadas pelo engenheiro Artur Arcuri, responsável pelo projeto do *campus*, não há nenhum registro de que houve intenção em utilizar essas estratégias como forma de mitigação do ruído (ARCURI, 2006a; ARCURI, 2006b; UFJF, 1970).

3.2 MAPEAMENTO SONORO

Seguindo a metodologia adotada por Brasileiro (2017), foi elaborada uma planilha abrangendo todas as informações necessárias para a análise sonora da universidade. O método para coleta de dados e para a medição dos níveis de pressão sonora são apresentados a seguir.

3.2.1 Coleta de dados

Para a coleta de dados, fez-se uma listagem que foi composta por pesquisa documental e levantamento físico do *campus* da UFJF (por meio de observações, anotações e registros fotográficos), dividida em aspectos morfológicos, meteorológicos, de tráfego e acústico. Posterior à coleta, foi possível organizar uma base de dados para o mapeamento sonoro da universidade através de uma planilha do Excel (Apêndices A e B). Os aspectos considerados foram:

a) aspectos morfológicos:

- topografia do *campus* da universidade – pesquisa documental disponibilizada pelo Departamento de Conforto Ambiental da UFJF;
- hierarquia de vias – levantamento em campo;
- largura e tipo de pavimentação das vias – levantamento em campo e pesquisa documental;
- gabarito das edificações – levantamento em campo e pesquisa documental;
- áreas verdes – levantamento em campo e pesquisa documental.

b) aspectos meteorológicos (Apêndice A):

- temperatura – levantamento em campo, medido a cada NPS registrado;
- direção e velocidade dos ventos – levantamento em campo, medido a cada NPS registrado;
- umidade relativa do ar – pesquisa online.

c) aspectos de tráfego (Apêndice B):

- volume do tráfego – levantamento em campo;
- velocidade média dos veículos – pesquisa documental disponibilizada pela UFJF;
- percentual de veículos leves e pesados – levantamento em campo.

d) aspectos acústicos (Apêndice A):

- medições externas e internas do nível de pressão sonora - levantamento em campo.

3.2.2 Medições *in loco*

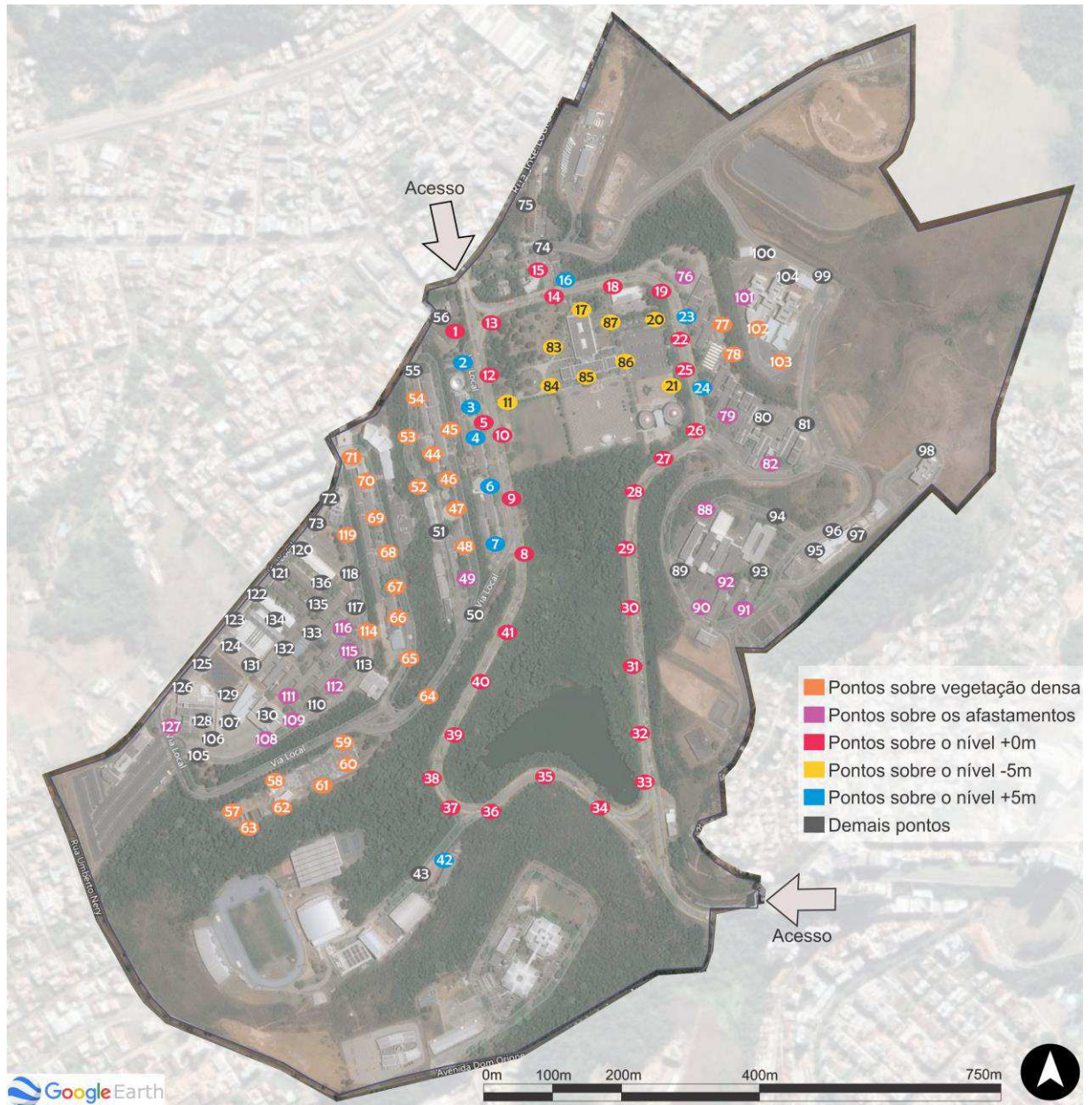
As medições do NPS nas áreas externas do *campus* e dentro dos edifícios foram feitas de acordo com as normas brasileiras NBR 10.151 (ABNT, 2019) e NBR 10.152 (ABNT, 2017a). As normas recomendam que o aparelho esteja devidamente calibrado e as medições sejam efetuadas quando não houver nenhum tipo de interferência adversa da natureza, como vento e chuva. Contudo elas não especificam um tempo mínimo para a medição, mas determinam que deve ser escolhido de forma a conseguir caracterizar o ruído local. Para as medições externas, utilizando o método simplificado da NBR 10.151 (ABNT, 2019), os equipamentos foram fixados a uma distância de 1,2m do piso e no mínimo 2m de quaisquer superfícies refletoras. Embora as normas não determinem uma distância mínima específica entre os nós, neste estudo a distribuição dos pontos externos se desenvolveu através de uma malha triangular de aproximadamente 50m de distância entre seus vértices, de forma a não haver uma diferença discrepante de níveis de pressão sonora entre os nós e tornar os resultados ainda mais fidedignos (NAGEM, 2004), resultando em 136 pontos (Figura 5).

A fim de avaliar se há eficiência nas estratégias projetuais para a mitigação do ruído (representadas nas Fotos 1, 2 e 3), a locação de alguns dos pontos de medição foi feita respeitando os seguintes critérios (Figura 5):

- a) próximos a locais onde possuem uma massa vegetativa densa (pontos em laranja);
- b) nas extremidades dos afastamentos de alguns edifícios e próximos ao acesso destes (respeitando a distância de, no mínimo, 2m de qualquer superfície) (pontos em roxo);
- c) na via principal, no nível topográfico +0m, junto à rua pública do entorno (pontos em rosa), em consonância com alguns pontos no nível abaixo da rua (plataforma 1 - pontos em amarelo) e no nível acima (plataformas 2 e 9 - pontos em azul).

Os demais (pontos em cinza) foram inseridos para completar a malha de 50 metros. Destaca-se que algumas áreas do *campus* não foram mapeadas por não terem seu acesso por dentro da Instituição ou por se localizarem fora desse território, são eles o Centro de Políticas Públicas e Avaliação da Educação (CAEd), a faculdade de Medicina e o Hospital Universitário.

Figura 5 - Pontos de medições externas



Fonte: *Google Earth* (2019), adaptado pelo autor (2020).

Quanto ao horário da medição, Nagem (2004) indica que deve ser escolhido de acordo com cada objetivo, variando em faixas de horários como manhã, tarde e noite. Assim, como o intuito do estudo seria captar os maiores NPS do *campus*, os

períodos de medição foram admitidos de acordo com os horários de pico de automóveis e pedestres: 07:30 às 09:30 / 11:30 às 13:30 / 16:30 às 18:30, nos dias típicos entre terças e quintas-feiras. Essa definição levou em conta o fluxo de automóveis diariamente na área, que se compõe de veículos leves (bicicletas, motocicletas e carros) e pesados (ônibus e caminhões). O fluxo foi estabelecido através da contagem de veículos em alguns dos pontos em que ocorreram as medições, utilizando os procedimentos adotados por Brasileiro (2017) com contagem durante 5 minutos (Tabela 5).

Tabela 5 - Contagem do fluxo de veículos

Período	Fluxo					
	Leve			Pesado		Total em 5 min
	Bicicleta	Motocicleta	Carro	Ônibus	Caminhão	
07h30-09h30	2	96	732	52	6	888
11h30-13h30	5	99	831	48	8	991
16h30-18h30	3	110	787	27	1	928

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Nos dias das medições externas, nos meses de outubro de 2018 e abril a junho de 2019, a temperatura estava amena (faixa de 21°C a 28°C) e a velocidade do vento estável, sem interferências audíveis vindas da natureza. Os equipamentos utilizados foram um Termo-Anemômetro Digital Portátil Mod. TAD-800 – INSTRUTHERM (Foto 4) e um Sonômetro Digital Portátil Mod. DEC-5030 1/1 e 1/3 *Octave Band Time Analyzer* (Foto 5), devidamente calibrado e configurado para medições de nível de pressão sonora equivalente ponderada em “A” e em modo “Fast”.

Foto 4 - Termo-Anemômetro Digital Portátil Mod. TAD-800 – INSTRUTHERM



Fonte: Do autor (2020).

Foto 5 - Sonômetro Digital Portátil Mod. DEC-5030



Fonte: Do autor (2020).

Como não é especificado pela norma, neste estudo foi considerado relevante a verificação do tempo suficiente para tornar as medições confiáveis, assim como na pesquisa de Zannin *et al.* (2013). Portanto um pré-teste foi realizado para determinar um tempo mínimo necessário para medições confiáveis e, então, otimizar o tempo e o equipamento. Assim, três testes foram realizados com medições em intervalos de 1 min para N=3, N=15 e N=60 em pontos aleatoriamente selecionados no *campus* (Figura 6).

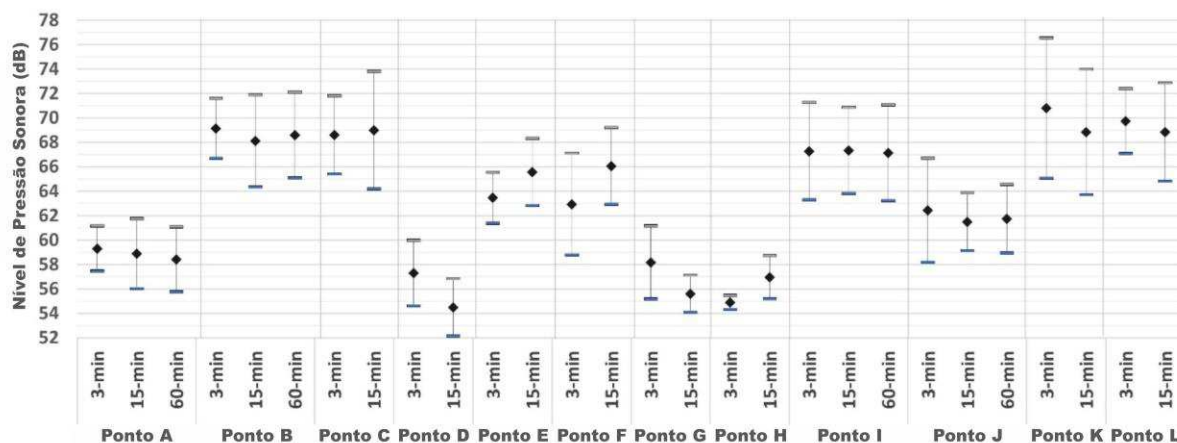
Figura 6 - Pontos selecionados para o teste estatístico



Fonte: *Google Earth* (2019), adaptado pelo autor (2020).

Foram definidos 12 pontos para medições de 3 min e 15 min e 4 pontos para medições de 60 min. A quantidade de números de pontos medidos diminuiu quando o tempo de medição foi maior para que se conseguisse otimizar tempo e equipamento, assim como Zannin *et al.* (2013). De acordo com a norma brasileira NBR 10.151 (ABNT, 2019), se houver um som atípico (buzinas de carros, por exemplo) no momento da medição, este deve ser excluído. Nesses casos, o registro do NPS foi feito imediatamente após o som intrusivo ter desaparecido. O Gráfico 1 apresenta a média \pm do desvio padrão das medidas de pressão sonora considerando os períodos de 3, 15 e 60 minutos.

Gráfico 1 - Média (♦) ± desvio padrão dos valores dos níveis de pressão sonora considerando os períodos de 3 min, 15 min e 60 min



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para comparar as medidas de 3, 15 e 60 minutos em cada local, foram realizados testes estatísticos. Para isso, os conjuntos de dados (medidas de 15 min e 60 min) foram testados para normalidade usando o teste de *Kolmogorov-Smirnov* e, em todos os casos, os dados seguiram distribuição normal. No entanto, este teste não pôde ser aplicado às medições de 3 minutos devido à limitação quanto ao número de dados ($N=3$). Portanto comparações foram realizadas com testes paramétricos e não paramétricos. Para testes paramétricos, o *ANOVA* foi usado para comparar três grupos (3, 15 e 60 minutos), enquanto o *t-Students* foi usado para comparar dois grupos (3 e 15 minutos). Para dados não paramétricos, o teste de *Kruskal-Wallis* foi usado para comparar os três tempos (3, 15 e 60 minutos), enquanto o teste de *Mann-Whitney* foi usado para comparar dois tempos (3 e 15 minutos). Todos os testes estatísticos foram realizados utilizando um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Utilizando testes paramétricos (*ANOVA* e *t-Students*), não foram observadas diferenças significativas entre quaisquer grupos de medidas em todos os pontos monitorados ($p\text{-valor} > 0,05$). Considerando-se os testes não paramétricos (*Kruskal-Wallis* e *Mann-Whitney*), novamente não foram observadas diferenças significativas entre quaisquer grupos de medidas em todos os pontos monitorados ($p\text{-valor} > 0,05$); a única exceção foi o Ponto K (*teste de Mann-Whitney*; $p\text{-valor} = 0,038$). Dessa forma, os resultados mostram que as medições de 3 min são adequadas para indicar a pressão sonora em diferentes locais uma vez que não se observaram diferenças significativas nos testes estatísticos.

Já as medições internas aos edifícios, realizadas entre agosto e dezembro de 2019, foram feitas em 24 pontos (Figura 7) definidos de acordo com os tipos de

ambiente e sua localização no *campus*. Os pontos foram determinados em locais com algum tipo de atividade durante os três períodos medidos e ao lado de fontes geradoras de maior e menor ruído, conforme as medições externas. Para esses ambientes foi utilizado o mesmo tempo da medição externa - três minutos por ponto - sendo observadas, simultaneamente, as condições do ambiente, como tipo de esquadria e material, situação das janelas e portas naquele instante (abertas ou fechadas) e comportamento dos usuários. No momento da medição, o aparelho foi posicionado a uma distância de pelo menos 1m de paredes, tetos, mobiliários e esquadrias, além de ser medido nas condições naturais que se encontrava o ambiente (janelas abertas ou fechadas), de acordo com a norma NBR 10.152 (ABNT, 2017a), e com a presença das pessoas que já estavam no local.

Figura 7 - Pontos de medições internas



Fonte: Google Earth (2019), adaptado pelo autor (2020).

3.3 DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS

Considerando-se a aplicação de questionários para o maior número de voluntários possíveis, a pesquisa teve o total de 626 respondentes, dentre alunos, professores e técnicos que ocupavam os pontos internos escolhidos, variando entre salas de aula, coordenações e salas de estudo. Como no levantamento externo, nessa etapa também se atentou para as boas condições do clima, sem que houvesse nenhuma interferência advinda da natureza. A aplicação foi feita no período de agosto a dezembro de 2019, juntamente às medições internas, sem que houvesse interferência nas respostas por parte do pesquisador uma vez que o questionário foi respondido enquanto havia as medições. Assim, o pesquisador e o voluntário só tiveram contato no momento da distribuição e recolhimento do documento.

As perguntas foram elaboradas a partir de pesquisas que tiveram metodologias próximas a este estudo (SZEREMETA; ZANNIN, 2009; ZANNIN *et al.*, 2013) e aprovadas junto ao Comitê de Ética da universidade (Certificado de Apresentação de Apreciação Ética: 98457018.4.0000.5147) (Anexo A). O questionário (Apêndice C) contém 10 questões objetivas, sendo que o voluntário teve a liberdade em marcar quantas opções achasse necessário, além de poder opinar com uma outra resposta que eventualmente não estivesse explícita dentre as alternativas. As perguntas, indicadas abaixo, incluíram aspectos sobre a percepção sonora dos usuários, como sensibilidade ao ruído, identificação dos sons e nível de incômodo. A primeira foi feita a fim de entender o voluntário e sua relação com o ruído associado ao dia a dia. Vale ressaltar que, apesar da medição sonora, não houve a aplicação de questionário aos usuários da área técnica/administrativa por não terem a presença de discentes e docentes em horário de aula. Posteriormente à parte prática, todos os questionários foram tabulados em uma planilha do Excel (Apêndice D):

1. Em seu dia a dia, você se expõe a algum tipo de som alto?
2. Com que frequência você usa esse ambiente?
3. Onde você costuma se sentar nesse ambiente?
4. Por que você costuma se sentar nesse lugar?
5. Que tipo de som você está ouvindo do lado de fora, nesse momento?
6. Você sempre ouve esse som nesse ambiente?
7. Esse som, nesse ambiente, te impede de ouvir bem o colega/professor?

8. Qual seu nível de incômodo quanto a esse som?
9. O que você faz para tentar diminuir esse som?
10. Em termos de ruído, você gostaria que esse ambiente ficasse sem mudanças, fosse mais silencioso ou fosse muito mais silencioso?

3.4 TESTE PILOTO

Para uma aplicação mais adequada possível do estudo em todo o *campus*, anteriormente, foi realizado um teste piloto de forma a testar a metodologia proposta. Para isso, foram feitas medições externas e internas e aplicação de questionário em apenas um trecho do *campus* (plataforma 5, onde estão situadas as faculdades de Artes e Design, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias) de forma a analisar uma amostra menor de dados e, posteriormente, ser capaz de aplicar o estudo ao restante da Instituição.

3.4.1 Medições *in loco*

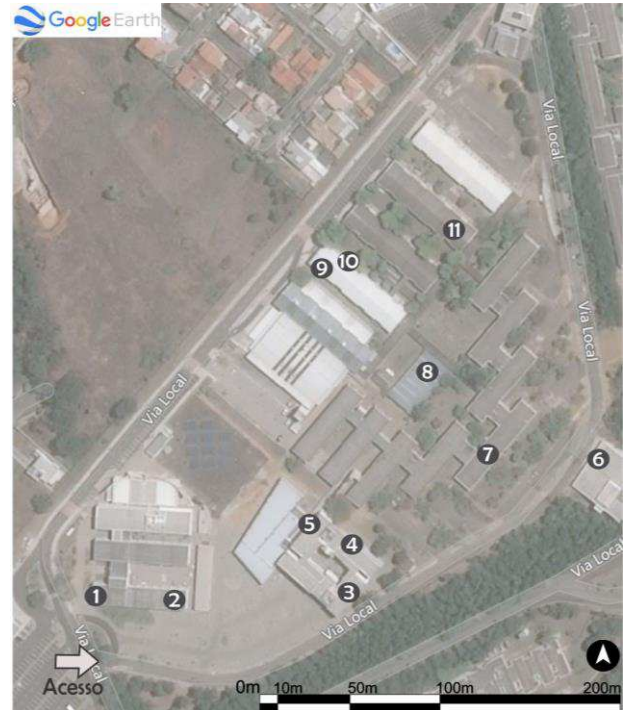
Dentro dessa plataforma, cuja área é de aproximadamente 83.000 m², foi adotada a mesma metodologia de distribuição de pontos através de uma malha triangular de 50m de distância, resultando em 32 pontos (Figura 8). Os períodos de medição de 07h30 às 09h30, 11h30 às 13h30 e 16h30 às 18h30 foram definidos desde essa etapa quando houve a contagem de veículos leves e pesados durante um dia todo e, assim, estipulou-se quais os horários de pico da universidade. O tempo de medição de cada ponto foi de 3 min, baseado no estudo de Zannin *et al.* (2013) e nos dados estatísticos apresentados anteriormente. Após as medições externas, os pontos internos, incluindo salas de aula, biblioteca e secretarias (Foto 6), foram escolhidos de acordo com os maiores valores registrados externamente, totalizando 11 pontos (Figura 9).

Figura 8 - Pontos de medições externas do teste-piloto



Fonte: *Google Earth* (2019), adaptado pelo autor (2020).

Figura 9 - Pontos de medições internas do teste-piloto



Fonte: *Google Earth* (2019), adaptado pelo autor (2020).

Foto 6 - Fotos de alguns ambientes internos avaliados



(a) Sala de Aula tipo 1



(b) Sala de Aula tipo 2



(c) Biblioteca



(d) Secretaria

Fonte: Do autor (2020).

Sendo assim, as etapas práticas de medições internas e externas de todo território foram possíveis de se realizar da mesma maneira que no teste piloto. Porém para a escolha dos pontos internos acrescentou-se ainda o critério de menor valor registrado do NPS externo, além dos de maior valor. Os resultados do teste piloto são apresentados no item 4.1.

3.4.2 Aplicação de questionário

Como no mapeamento de ruído, também houve a aplicação de questionário para uma parcela do *campus* antes do estudo geral. O foco foi aplicar nos mesmos ambientes em que ocorreram as medições internas e nos mesmos períodos de pico estipulados. As perguntas foram formuladas de acordo com Szeremeta e Zannin (2009) e Zannin *et al.* (2013) e aplicadas a 140 voluntários incluindo estudantes, professores e técnicos. O questionário continha nove perguntas sendo que a primeira foi feita a fim de entender o voluntário e sua relação com o ruído associado ao dia a dia.

Diferente do mapeamento de ruído, após a aplicação do questionário, essa etapa exigiu algumas mudanças nas perguntas. Foi preciso modificar a palavra “mitigar” por “diminuir”, na questão 8, para o melhor entendimento dos voluntários, e acrescentar as perguntas “3. Onde você costuma se sentar nesse ambiente?” e “4. Por que você costuma se sentar nesse lugar?” para uma análise mais completa ao relacionar os resultados. A forma como foi aplicado o questionário não houve alteração.

3.5 ESTRATÉGIAS PROJETUAIS DO CAMPUS PARA MITIGAÇÃO DO RUÍDO

Além da análise do comportamento do ruído na universidade, foi feita também uma investigação quanto à eficácia das estratégias projetuais para a redução do nível de pressão sonora. Para isso, considerou-se a influência dos afastamentos das edificações e o desnivelamento de algumas construções em relação ao plano do sistema viário. A estratégia da grande massa vegetal nas topografias acentuadas ao redor de edificações não foi analisada devido à dificuldade em situar os pontos de medição tendo em vista o impedimento de acesso a esses locais. A seguir, o passo a passo do método utilizado para ambas análises.

3.5.1 Coleta de dados

Para a identificação das estratégias projetuais, foi elaborado um quadro com base em Valadares (1997), contendo as principais informações das regiões estudadas: topografia do local, distâncias dos pontos em relação aos eixos F-P, P-P, P-O e P-F (descritos no Quadro 2); tipo de pavimentação e sentido de propagação do ruído no local, conforme Quadro 2. Como essa seria uma análise mais minuciosa, optou-se por tomar a distância de vários eixos para que pudesse ficar clara a relação do ruído com o seu receptor, sabendo o nível de interferência que os obstáculos têm ao refletir e absorver os sons.

Quadro 2 - Resumo da coleta de dados

PARÂMETROS	ANÁLISE DOS PARÂMETROS
Topografia	- Nivelado/desnivelado - Aclive / declive
Distâncias	- Da Fonte ao Ponto (F-P) - De um Ponto a outro Ponto, formando um segmento (P-P) - De um Ponto a um Obstáculo mais próximo (P-O) - De um Ponto a uma Fachada mais próxima (P-F)
Revestimento do piso	- Vegetado - Pavimentado
Sentido de propagação do som	- Em nível - Ascendente - Descendente

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A fim de avaliar se as estratégias adotadas realmente promovem a mitigação do ruído no *campus*, foram formados quatro segmentos de pontos de medição que permitiram a avaliação das estratégias projetuais selecionadas para esse estudo quanto ao afastamento das edificações em relação a via e o uso de taludes (ambos com e sem a presença de superfícies vegetadas). Assim, foi possível organizar uma base de dados com as especificidades de cada local, distribuídos por esses segmentos (Apêndice E).

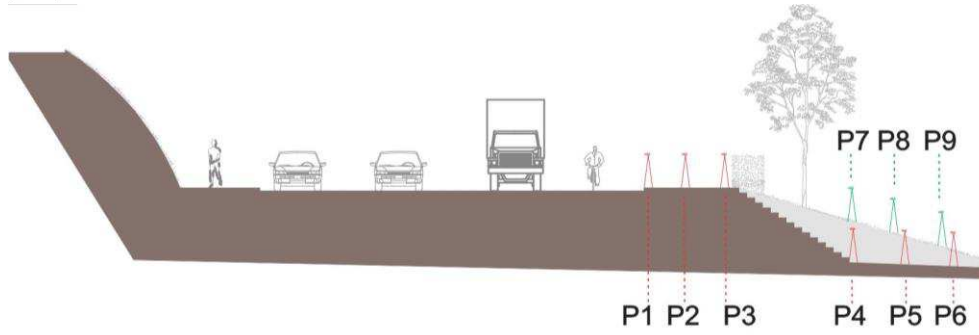
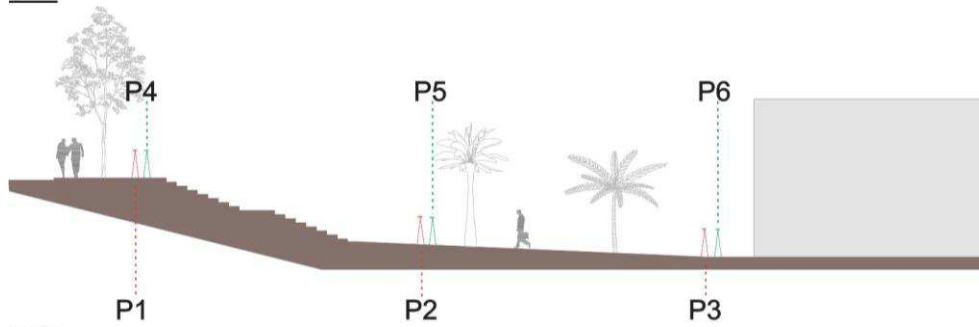
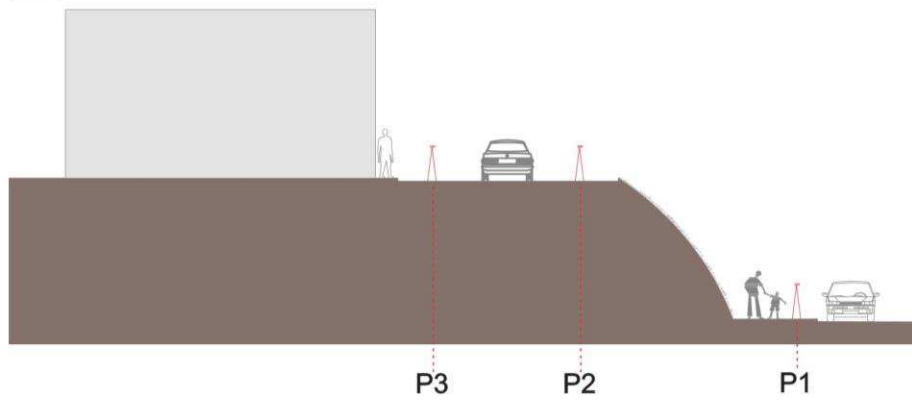
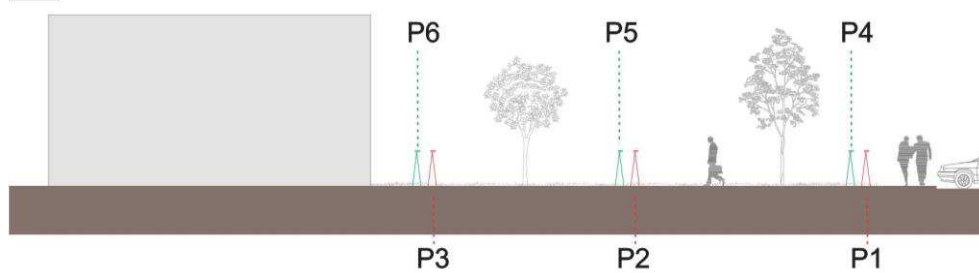
3.5.2 Medições *in loco*

A distância e o número de pontos de medição variaram entre os segmentos considerando a área e a quantidade de colaboradores na equipe de trabalho, tendo em vista que todas as medições foram feitas ao mesmo tempo (Figura 10). Assim, com o uso de três sonômetros, formaram-se conjuntos de três pontos de medições

simultâneas. Dessa forma foi estabelecido um total de 24 pontos de medição, conforme Tabela 6.

Figura 10 - Localização dos cortes no *campus* da UFJF de acordo com os segmentos



S1**S2****S3****S4**

P Pontos

■ Pontos em áreas gramadas

■ Pontos em áreas pavimentadas

0m 5m 10m 15m 20m 25m

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Tabela 6 - Divisão dos pontos de medição

Segmentos	Número de Pontos
Segmento 1 (Corte A-A)	9 pontos
Segmento 2 (Corte B-B)	6 pontos
Segmento 3 (Corte C-C)	3 pontos
Segmento 4 (Corte D-D)	6 pontos

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para essa análise, as medições do nível de pressão sonora também foram feitas de acordo com a norma brasileira NBR 10.151 (ABNT, 2019), seguindo as recomendações quanto ao tipo de aparelho, posicionamento do equipamento e tempo do dia. O período de medição foi o mesmo que o definido para o restante do estudo, atentando ao horário de pico de tráfego veicular do *campus*. Da mesma forma, o tempo de medição também foi de três minutos por ponto, porém, sendo amostrados manualmente a cada cinco segundos para que se tivesse uma descrição da faixa de NPS mais próxima do real possível.

Nessa etapa, além dos valores de nível de pressão sonora equivalentes contínuos ($L_{Aeq3min}$), também foram definidos estatisticamente os níveis de descritores acústicos mínimo ($L_{AFeqmin}$ - menor nível de pressão sonora no período de medição) e máximo ($L_{AFeqmax}$ - maior nível de pressão sonora no período de medição), além dos percentis 10% (L_{AF10} - nível de pressão sonora excedido em 10% do tempo de medida efetiva) e 90% (L_{AF90} - nível de pressão sonora excedido em 90% do tempo de medida efetiva).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os principais resultados gerados a partir dos dados coletados. Na ordem, a pesquisa apresenta a análise feita para o teste-piloto com os apontamentos sobre as medições sonoras e aplicação de questionário. E, posteriormente, há a análise dos mesmos aspectos, porém considerando o *campus* como um todo. Para um melhor entendimento, nesse segundo momento houve a subdivisão das investigações por plataforma.

4.1 TESTE PILOTO

Essa parte do estudo, juntamente à sua metodologia, foi transformada em um artigo científico com publicação na revista *Applied Acoustic*, da editora *Elsevier*, com o título de “*Evaluation of noise pollution related to human perception in a university campus in Brazil*”, no mês de setembro de 2019 (DE SOUZA; ALBERTO; BARBOSA, 2020).

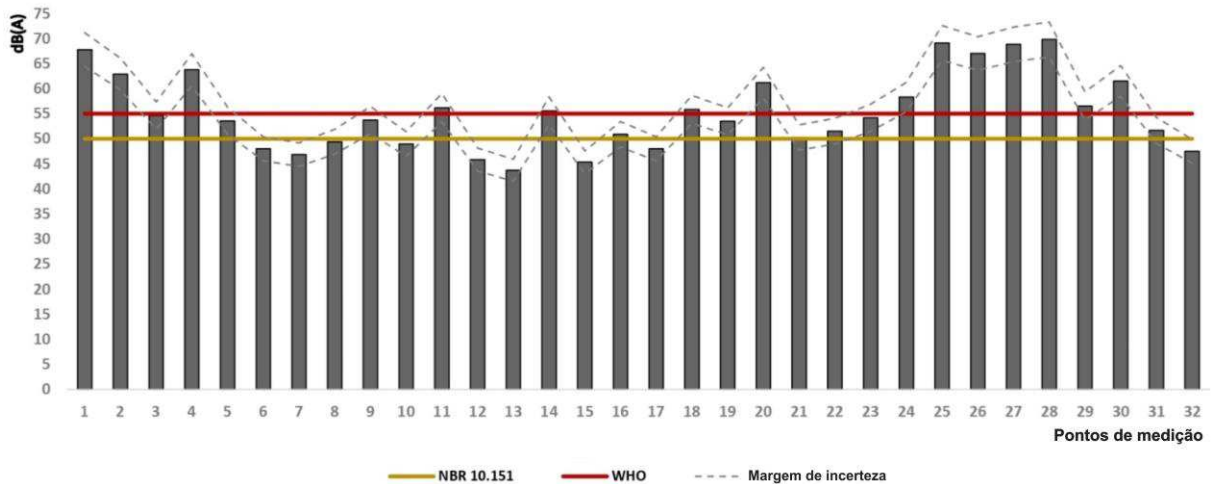
4.1.1 Medições *in loco*

Os resultados das medições foram comparados às recomendações da WHO (1999), que fixa o valor máximo do L_{Aeq} (nível de pressão sonora médio ponderado em A durante um período de tempo) igual a 35 dB para ambientes escolares internos e 55 dB para ambientes escolares externos; e às normas NBR 10.151 (ABNT, 2019), que determina um nível de pressão sonora contínuo equivalente igual a 50 dB para o período diurno em ambientes externos, e NBR 10.152 (ABNT, 2017a), que define o $L_{Aeq} = 35$ dB para ambientes internos, assim como a WHO.

As medições externas indicaram que 28 dos 32 pontos medidos ultrapassaram os limites determinados pela NBR 10.151 (ABNT, 2019), enquanto 17 deles ultrapassaram os limites determinados pela WHO para o período diurno, com pico de 12 dB acima do indicado. Os Gráficos 2, 3 e 4 mostram o nível de pressão sonora medido em cada ponto nos 3 períodos e a Figura 11 apresenta um mapa com a média da faixa de pressão sonora no ambiente externo. No período das 07h30 às 09h30, as medições apresentaram um intervalo de 44 a 70 dB, sendo o ponto próximo ao Restaurante Universitário (RU) (ponto externo 28) excedendo 26 dB do recomendado. Isso pode ser

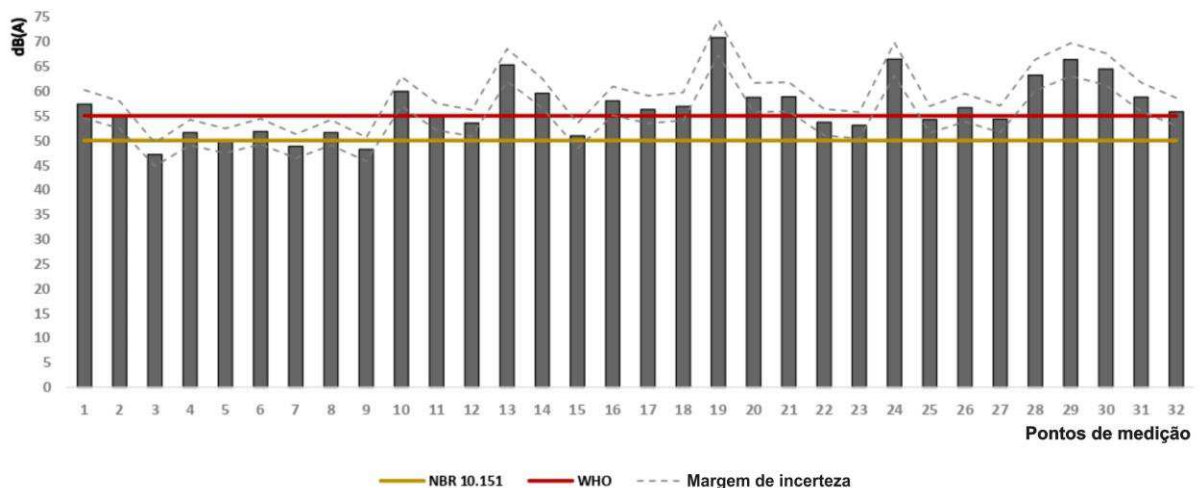
explicado pelo aumento do fluxo de automóveis e pedestres e pelo formato estreito dessa área, que pode dificultar a disseminação do som. Nos períodos das 11h30 às 13h30 e das 16h30 às 18h30, os níveis de ruído situaram-se entre 47 e 71 dB e 46 e 70 dB, respectivamente, sendo seu maior nível também próximo ao RU, mostrando uma relativa homogeneidade sonora da área ao longo do dia.

Gráfico 2 - Nível de pressão sonora das 07:30 às 09:30, medido no ambiente externo



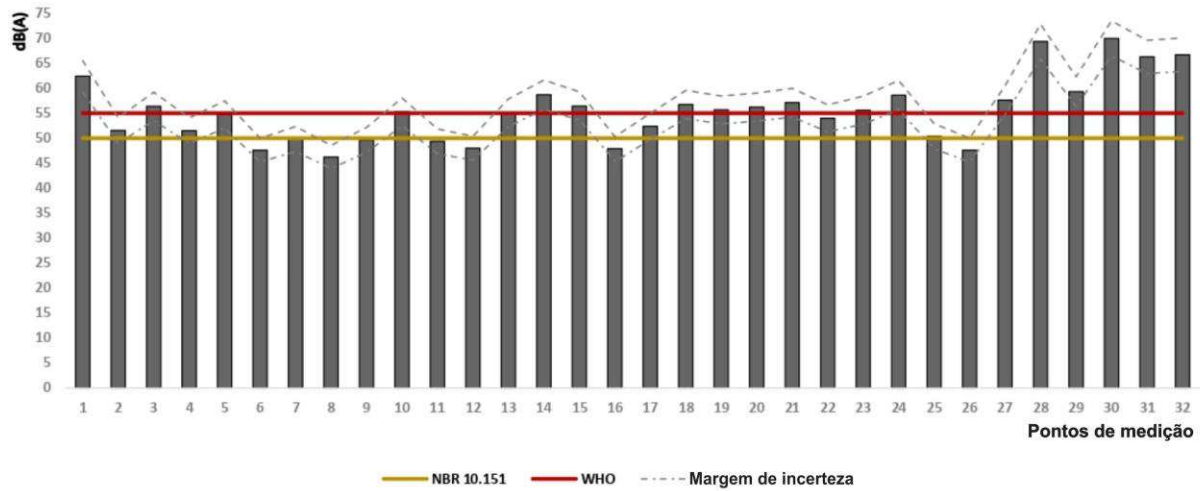
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Gráfico 3 - Nível de pressão sonora das 11:30 às 13:30, medido no ambiente externo



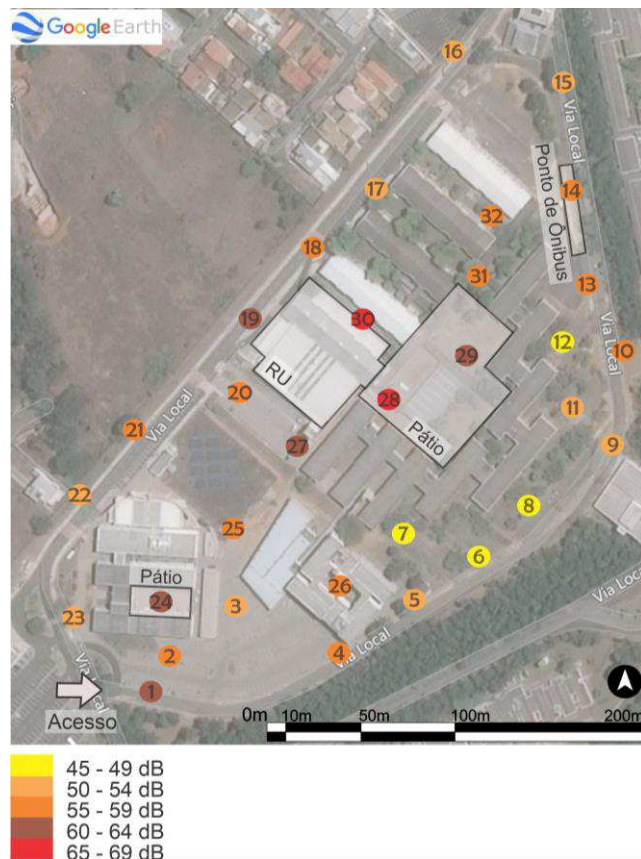
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Gráfico 4 - Nível de pressão sonora das 16:30 às 18:30, medido no ambiente externo



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 11 - Faixa de pressão sonora externa



Fonte: Google Earth (2019), adaptado pelo autor (2020).

Também é possível notar que algumas regiões seguem condições semelhantes ao longo do dia. Por exemplo, os pontos 6, 7 e 8 apresentam uma baixa incidência

relativa de pressão sonora. Embora a área esteja próxima da via e possa capturar sons de veículos, ela também é colocada em uma área aberta perto de uma zona de área verde, o que facilita a dispersão do som. Sendo interessante notar ainda que os pontos 30, 31 e 32 apresentam um aumento dos níveis sonoros no final do dia, possivelmente devido à sua proximidade com o ponto de ônibus.

As Figuras 12 a 14 mostram a faixa de pressão sonora nos pontos internos dos três períodos considerados. Todos os 11 pontos resultaram em um L_{Aeq} maior que 35 dB, o que indica níveis de pressão acústica acima do recomendado pelas normativas. Durante o período das 07h30 às 09h30, os valores variaram entre 45 e 53 dB com níveis de pressão sonora acima do recomendado em uma sala de aula de um edifício relativamente novo (ponto interno 3). Como essa sala não está localizada próxima aos pontos externos que tiveram os níveis sonoros mais altos registrados, seu NPS elevado pode ser explicado pela proximidade com a via, onde há um aumento da circulação de veículos durante a manhã. Além disso, também pode ser devido ao design da sala de aula, que apresenta janelas em toda a extensão da fachada.

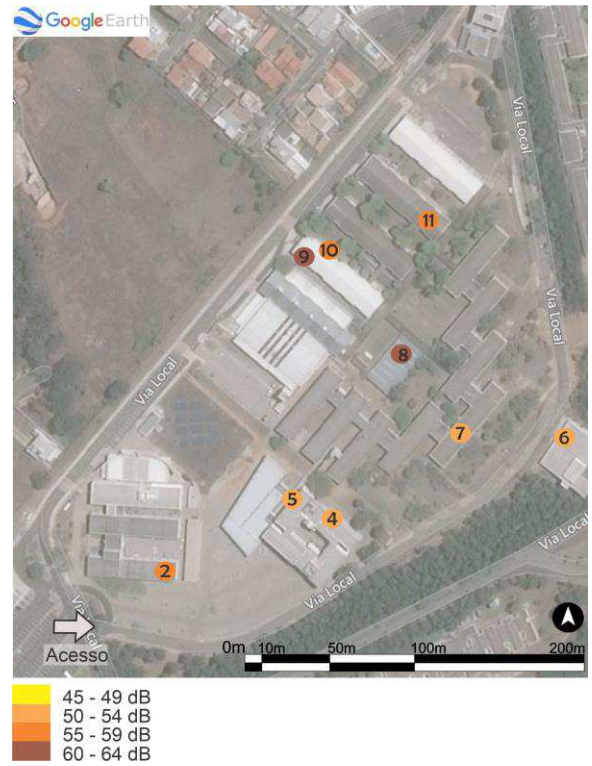
Das 11h30 às 13h30, quando o fluxo de pedestres e veículos aumenta substancialmente nesse setor da universidade, os níveis sonoros variam de 51 a 62 dB, com os valores mais altos localizados nos pontos internos 8 e 9. Das 16h30 às 18h30, os níveis sonoros variaram entre 51 e 57 dB, sendo o pico localizado na sala de aula próxima a uma faixa de pedestres (ponto interno 5). Essas salas estão posicionadas onde há mais pessoas circulando.

Figura 12 - Faixa de pressão sonora interna, no período de 07:30 às 09:30



Fonte: *Google Earth* (2019), adaptado pelo autor (2020).

Figura 13 - Faixa de pressão sonora interna, no período de 11:30 às 13:30



Fonte: *Google Earth* (2019), adaptado pelo autor (2020).

Figura 14 - Faixa de pressão sonora interna, no período de 16:30 às 18:30



Fonte: *Google Earth* (2019), adaptado pelo autor (2020).

4.1.2 Aplicação de questionário

O questionário foi aplicado a 140 voluntários que estavam nos ambientes de aula ou trabalho. Entre eles, 128 alunos com idades entre 18 e 29 anos e 12 professores ou técnicos entre 24 e 61 anos de idade. Todos eles tiveram sua identidade preservada. A Tabela 7 mostra a distribuição dos participantes.

Tabela 7 - Distribuição dos participantes de acordo com a idade

Categoria	Faixa Etária					Total
	18 – 29	30 - 39	40 - 49	50 - 59	60 - 69	
Estudante	128	0	0	0	0	128 (91%)
Professor ou Técnico	3	6	1	1	1	12 (9%)
Total de Voluntários	131	6	1	1	1	140

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os respondentes foram agrupados de acordo com sua idade e exposição à níveis de pressão sonora mais elevado a fim de fornecer uma compreensão clara e estruturada de sua percepção sonora. Entre os voluntários de 18 a 29 anos, apenas 8% relataram contato frequente com ruídos elevados em seu dia a dia (grupo A), enquanto 92% tem contato com ruídos elevados apenas algumas vezes ou nunca durante suas rotinas (grupo B). Entre os entrevistados adultos (30 a 69 anos), 100% disseram nunca ou apenas algumas vezes terem contato com ruídos elevados (grupo C) (Tabela 8). Quando perguntados sobre a frequência com que usam os ambientes universitários, 57% dos 140 voluntários afirmaram estar presentes no *campus* pelo menos cinco vezes por semana em salas de aula, bibliotecas ou escritórios, especialmente nos períodos da manhã e da tarde.

Tabela 8 - Divisão dos respondentes por grupos

Grupo	Faixa Etária	Nível de Exposição ao Som Alto no dia a dia
A	18 – 29 anos	8% - Contato Frequente
B	18 – 29 anos	92% - Às vezes/Nunca
C	30 – 69 anos	100% - Às vezes/Nunca

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Embora grande parte da área estudada tenha apresentado níveis de pressão sonora acima do indicado pelas normas nacionais e as diretrizes internacionais, uma porcentagem considerável dos entrevistados (grupo A: 36%; grupo B: 49%; grupo C: 33%) disse não ser perturbado pelo ruído. Isso pode ser explicado pela exposição diária a esse NPS, tornando-o comum aos ouvintes. Entre os mais jovens, 39% dos

incomodados pelo som local relataram dificuldades de concentração, enquanto no grupo C, a maior queixa foi irritação (33%).

A Tabela 9 mostra o tipo de som mais escutado pelos respondentes, em relação aos três grupos. Independentemente da idade das pessoas ou da frequência em contato com níveis de pressão sonora elevados, as três maiores reclamações de todos os grupos foram conversas entre pessoas, ruído do tráfego e sons da natureza. No entanto, dentre os mais jovens, a conversa entre as pessoas e os ruídos do trânsito incomoda mais, em contraponto ao grupo de pessoas adultas (grupo C) cujas principais queixas são sobre a fala e os sons da natureza. Possivelmente isso se deve à proximidade das salas de aula (ambientes frequentemente utilizados pelo grupo A) à via e aos corredores, enquanto os escritórios (ambientes frequentemente utilizados pelo grupo C) têm normalmente aberturas para áreas livres verdes. É interessante notar que, em todos os grupos, cerca de 15% das pessoas relataram estar incomodadas com o ruído da construção civil, mesmo não sendo um som constante em todos os locais de aplicação. A homogeneidade do tipo de ruído gerado por essa área do *campus* pode explicar as semelhanças nas respostas, independentemente da posição das pessoas na região.

Tabela 9 - Resultados da votação sobre o tipo de som escutado durante a aplicação do questionário

	Natureza	Fala	Tráfego	Outros	Nenhum
GRUPO A 18-29 anos 8% - Contato Frequente	27%	54%	54%	18% (construção civil)	9%
GRUPO B 18-29 anos 92% - Às vezes/Nunca	27%	63%	40%	16% (construção civil e máquinas)	5%
GRUPO C 30-69 anos 100% - Às vezes/Nunca	33%	67%	22%	11% (construção civil)	11%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Quando perguntados se o nível de ruído impedia que eles ouvissem bem seus colegas ou professores, 91% dos entrevistados do grupo A disseram que não conseguiam ouvir um ao outro às vezes ou muitas vezes naquelas salas. Esse número é menor entre as pessoas do grupo B e C, que chega a 60% e 67%. Isso pode estar relacionado à alta exposição sonora usual do grupo A, que pode ter sua audição afetada a longo prazo com uma parcela de perda auditiva. Além disso, demonstra, também, a baixa qualidade acústica das salas analisadas devido à falta de tratamento acústico adequado, já que o tempo de reverberação calculado ultrapassou drasticamente o tempo ideal (Tabela 10), sendo apenas 27% das pessoas dizendo ter

clareza de fala o tempo todo (parâmetro ligado a inteligibilidade da fala – quando a palavra falada é bem entendida pelo público).

Tabela 10 - Tempos de reverberação ideais e calculados de quatro salas

	Tempo de Reverberação Ideal (s)	Tempo de Reverberação Calculado (s)
Sala de Aula tipo 1	0,7	2,0
Sala de Aula tipo 2	0,7	1,4
Biblioteca	0,6	0,7
Secretaria	0,6	1,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Embora um alto número de voluntários nos três grupos tenha afirmado estar de alguma forma incomodado com as condições de som nos ambientes internos (grupo A: 72%, grupo B: 53%, grupo C: 55%), uma grande parte deles (54%, 55% e 44% nos grupos A, B e C, respectivamente) afirmaram não fazer nada para tentar mitigá-lo. Algumas das soluções dadas pelos voluntários seriam fechar as portas ou janelas e pedir silêncio. Cerca de 27% das pessoas do grupo A afirmaram se mudar para outro local da sala por causa de suas condições acústicas, o que pode estar relacionado a um dano auditivo nesse grupo, já que esse número cai para 6% e 0% nos grupos B e C. Isso demonstra que as pessoas geralmente evitam fazer qualquer esforço para melhorar suas condições acústicas, embora a maioria dos entrevistados (grupo A: 100%, grupo B: 63%; grupo C: 78%) gostaria que seus ambientes fossem mais silenciosos.

O maior nível de pressão sonora registrado no ambiente interno foi no ponto 9 (identificado na Figura 13) correspondente a uma sala de aula localizada a 5m do RU, onde atingiu o pico de 62 dB durante a hora do almoço. Nesse ambiente, 90% dos usuários disseram estar incomodados com as condições de ruídos provenientes do exterior, 70% afirmaram ter dificuldades em ouvir um colega ou o professor e 90% gostariam que este local fosse mais silencioso. Isso demonstra a importância de um layout adequado em um *campus* universitário, pois as salas de aula devem ser colocadas longe dos locais com concentração de pessoas. Também é interessante mencionar que nessa sala as janelas se ocupam em uma fachada inteira e permaneceram abertas durante a avaliação, o que tem um grande efeito na transmissão do som para o interior.

Por outro lado, embora o ponto 4 tenha sido o ponto com o menor nível de pressão sonora observado em ambientes fechados, onde foi registrado até 46 dB durante a manhã, 100% dos entrevistados prefeririam que a sala fosse mais silenciosa

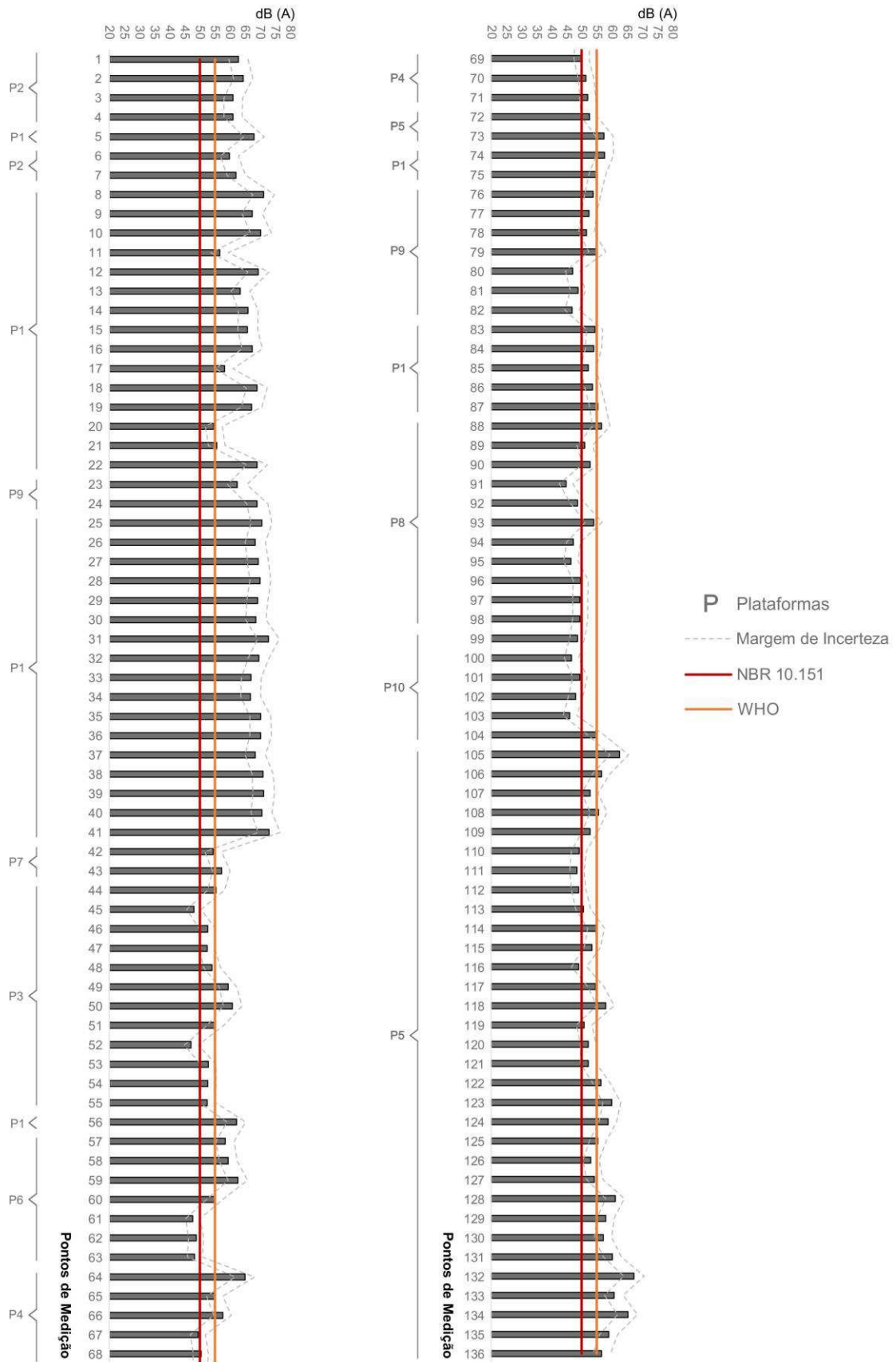
ou muito mais silenciosa. Esta sala de aula é caracterizada por aberturas tanto para o pátio interno (aproximadamente 3m de distância) quanto para a via (15m de distância). Nela, a maioria dos usuários (90%) é do grupo B e 47% apontam que costumam ouvir as pessoas falando neste local, sendo que a mesma porcentagem (47%) afirmou que as condições sonoras da sala impedem que eles escutem bem um colega ou professor.

Em relação às diferenças de acordo com a hora do dia, percebeu-se que no ponto externo 26, em um pátio interno de acesso exclusivo a pedestres, o nível de pressão sonora no período da tarde excedia 19 dB quando comparado à medição no período da manhã. Isso afeta principalmente as salas de aula nos pontos 3, 4 e 5, localizadas acerca de 3m do ponto externo. Mesmo com esse alto contraste, prevalecem as queixas sobre a fala das pessoas, sendo 60% e 90% no período da manhã e da tarde, respectivamente. No entanto, o maior percentual de usuários incomodados que tentam atenuar o problema é apontado no final da tarde, quando 81% optam por fechar a janela/porta, enquanto esse número é de 40% no período da manhã.

4.2 MAPEAMENTO SONORO DO *CAMPUS*

Assim como no teste piloto, como forma de avaliar se os valores de pressão sonora encontrados apresentam-se coerentes com os máximos recomendados por normativas, os resultados das medições de todo o *campus* também foram comparados com os limites de 35 dB para ambientes escolares internos e 55 dB para ambientes escolares externos definidos pela WHO (1999); e com os limites de 50 dB para o período diurno em ambientes externos definidos pela norma NBR 10.151 (ABNT, 2019), e de $L_{Aeq}=35$ dB para ambientes internos recomendados tanto pela NBR 10.152 (ABNT, 2017a). Dessa forma, verificou-se que 50% dos pontos externos estão com os níveis sonoros dentro do recomendado pela norma menos restritiva, de 55 dB da WHO (1999). Esse valor cai para apenas 19% quando comparado à mais restritiva, de 50 dB da NBR 10.151 (ABNT, 2019) (Gráfico 5). Portanto vê-se que a maioria dos pontos externos estão em desacordo com as normas analisadas.

Gráfico 5 - Faixa de nível de pressão sonora medido no ambiente externo

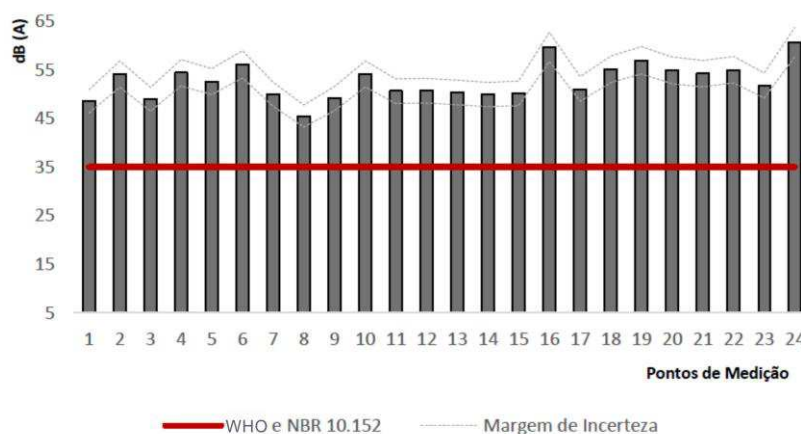


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Percebe-se que nos três períodos analisados (7h30-9h30; 11h30-13h30; 16h30-18h30), as medições no ambiente externo apresentam comportamentos semelhantes em todas as plataformas. Contudo, é possível notar algumas características pontuais da distribuição sonora em cada platô.

O Gráfico 6 mostra a média da faixa de pressão sonora nos pontos medidos em ambientes internos nos três períodos considerados. Assim como no teste piloto, todos os 24 pontos resultaram em um L_{Aeq} maior que 35 dB, o que indica níveis de pressão acústica acima do recomendado pelas normativas. Durante o período das 07h30 às 09h30, os valores variaram entre 39 e 58 dB, sendo registrados exatamente nas mesmas plataformas que apresentaram os maiores (plataforma 1) e menores (plataforma 8) níveis de pressão sonora.

Gráfico 6 - Faixa de nível de pressão sonora medido no ambiente interno



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Entre os ambientes com NPS mais altos no período da manhã, apenas um deles (ponto interno 19) funciona como sala de aula, exigindo maior concentração dos usuários. O ambiente, que possui janelas em toda a extensão da fachada, está localizado na plataforma 2, próximo aos pontos externos que apresentaram os níveis sonoros mais elevados. Isso pode ser explicado pela grande circulação de veículos na área, uma vez que ele se encontra ao lado de um cruzamento e de um dos acessos principais do *campus*. O mesmo local também registrou os maiores níveis sonoros nos outros dois períodos medidos, variando de 47 a 62 dB, no horário de 11h30 às 13h30, e de 43 a 63 dB, no horário de 16h30 às 18h30. O aumento desses valores pode ser explicado pelo alto fluxo de pedestres e veículos que circulam pela universidade nesses horários de pico.

O questionário foi aplicado a 626 voluntários que estavam nos ambientes de aula ou trabalho. Ao todo foram computadas respostas de 565 alunos com idades entre 18 e 49 anos e 61 professores ou técnicos que têm entre 24 e 62 anos de idade. Todos eles tiveram sua identidade preservada. A Tabela 11 mostra a distribuição dos participantes.

Tabela 11 - Distribuição dos participantes de acordo com a idade

Categoria	Faixa Etária			Total
	18 – 29	30 - 49	50 - 69	
Estudante	538	27	0	565 (90%)
Professor ou Técnico	7	39	15	61 (10%)
Total de Voluntários	545	66	15	626

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Assim como no teste piloto, os respondentes foram agrupados de acordo com sua idade e exposição a níveis de pressão sonora mais elevados, a fim de fornecer uma compreensão clara e estruturada de sua percepção sonora. Entre os voluntários de 18 a 29 anos, 50,3% relataram contato frequente com ruídos elevados em seu dia a dia (grupo A), enquanto apenas 36,7% têm contato com ruídos elevados algumas vezes ou nunca durante suas rotinas (grupo B). Entre os entrevistados adultos (30 a 69 anos), 5% afirmaram ter contato frequente (grupo C) com altos ruídos, enquanto 8% disseram nunca ou apenas algumas vezes ter contato com ruídos elevados (grupo D) (Tabela 12). Quando perguntados sobre a frequência com que usam os ambientes universitários, 42% dos 626 voluntários afirmaram estar presentes no *campus* pelo menos quatro vezes por semana em salas de aula, bibliotecas ou escritórios, especialmente nos períodos da manhã e da tarde.

Tabela 12 - Divisão dos respondentes por grupos

Grupo	Faixa Etária	Nível de Exposição ao Som Alto no dia a dia
A	18 – 29 anos	50,3% - Contato Frequente
B	18 – 29 anos	36,7% - Às vezes/Nunca
C	30 – 69 anos	5% - Conta Frequente
D	30 – 69 anos	8% - Às vezes/Nunca

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Analisando separadamente os ambientes internos, vê-se que, mesmo as plataformas se classificando como mais e menos ruidosas (de acordo com a quantidade de pontos que tiveram suas faixas de NPS atendendo ou não as normas em cada plataforma), no geral, não há muita divergência entre as respostas dos voluntários. Ressalta-se aqui que não houve aplicação de questionário na plataforma 6 por ser um

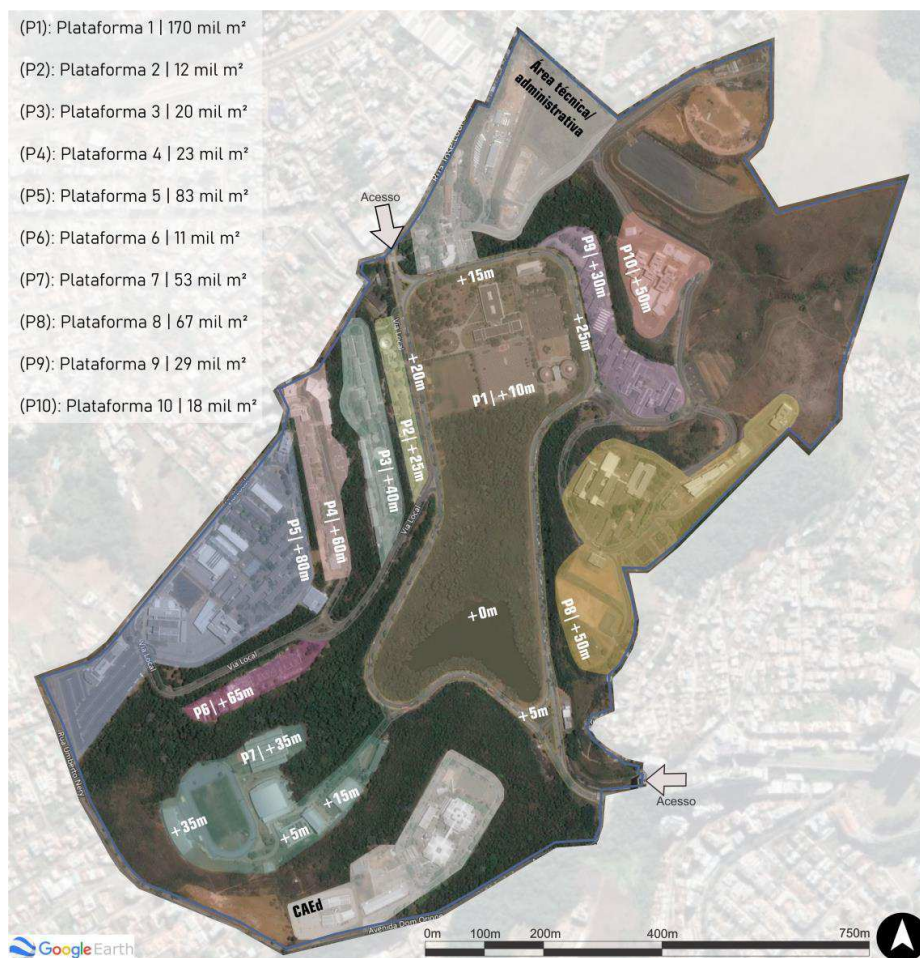
local com acesso interno restrito. A seguir, as análises foram feitas separadamente à cada plataforma (Figura 15) para o melhor entendimento da relação entre o comportamento do ruído naquelas áreas e a percepção dos usuários que as utilizam.

Quadro 3 - Divisão das plataformas em mais ou menos ruidosas

PLATAFORMAS	CLASSIFICAÇÃO	
	MAIS RUIDOSA	MENOS RUIDOSA
Plataforma 1	X	
Plataforma 2	X	
Plataforma 3		X
Plataforma 4		X
Plataforma 5	X	
Plataforma 6		X
Plataforma 7		X
Plataforma 8		X
Plataforma 9	X	
Plataforma 10		X

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 15 - Plataformas do *campus* da UFJF



Fonte: *Google Earth* (2019), adaptado pelo autor (2020).

4.2.1 Plataforma 1

A plataforma 1 se caracteriza por uma via principal que se interliga nas vias secundárias, dando acesso a todos os conjuntos edifícios que sediam os cursos da universidade, além dos acessos principais que conectam as regiões Centro-Sul-Oeste da cidade. Em horários de pico há muitos praticantes de atividade física, além dos estudantes e funcionários que circulam por essa mesma via. Em média, a plataforma registrou os maiores níveis de pressão sonora do *campus* com picos de 70 a 73 dB. Por sua vez, o NPS mais baixo registrado nessa plataforma foi de 52 dB que, ainda assim, está acima do recomendado pela norma mais restritiva.

Nos períodos da manhã, almoço e fim de tarde, os maiores valores de nível de pressão sonora medidos foram de 74 e 75 dB, nos pontos 8, 27 e 35 (Tabela 13). Isso pode ser explicado devido à localização deste platô no *campus*, uma vez que a plataforma 1 se caracteriza por ter o maior fluxo de automóveis no anel viário principal. Além disso, os pontos de maior NPS são localizados em espaços de aclave e declive da via, bem como em cruzamentos, onde mais ocorrem aceleração e frenagem de veículos. Já as regiões com os menores valores de NPS medidos na plataforma podem ser explicadas por se localizarem em áreas onde é permitido apenas acesso de pedestres, onde há desnivelamento do anel viário principal em até -5m e onde possuem uma significativa área de superfícies absorvedoras, como gramíneas.

Tabela 13 - Valores de elevado NPS da plataforma 1 de acordo com os períodos do dia

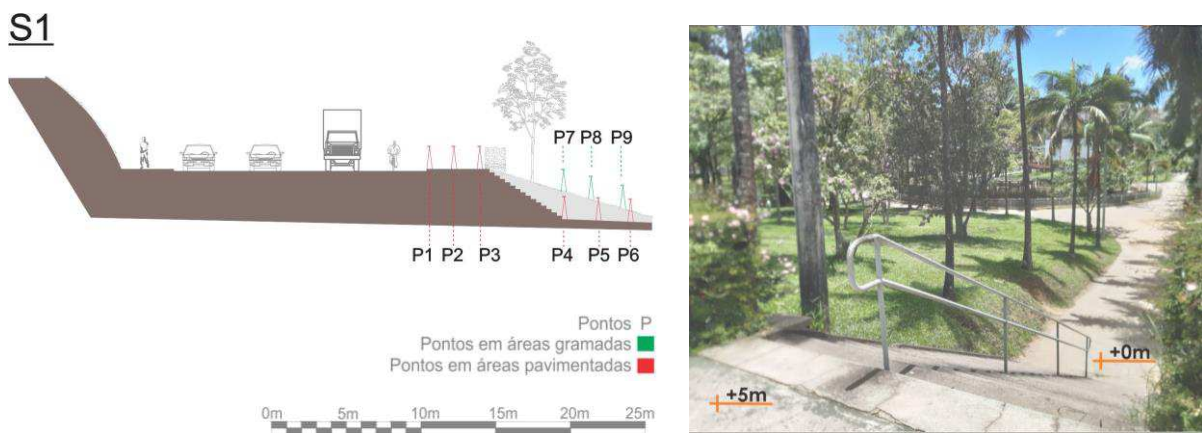
Horário	Ponto de Medição	Nível de Pressão Sonora
07h30 – 09h30	8	75 dB
11h30 – 13h30	27	74 dB
16h30 – 18h30	35	75 dB

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Quanto às estratégias projetuais, nos pontos do Corte A-A (Figura 16), não houve uma homogeneidade dos valores em relação ao afastamento na área pavimentada e não necessariamente o ponto mais distante da via foi o de valor mais baixo em termos do descritor acústico $L_{Aeq3min}$ (Gráfico 7). Isso pode ter ocorrido, possivelmente, pelo fato da calçada - que teve os pontos nela situados (P1, P2 e P3) - estar sendo utilizada pelos usuários de atividade física naquele período, além do fato de haver uma grande proximidade entre os próprios pontos de medição. Uma melhor avaliação do efeito do afastamento e propagação descendente da

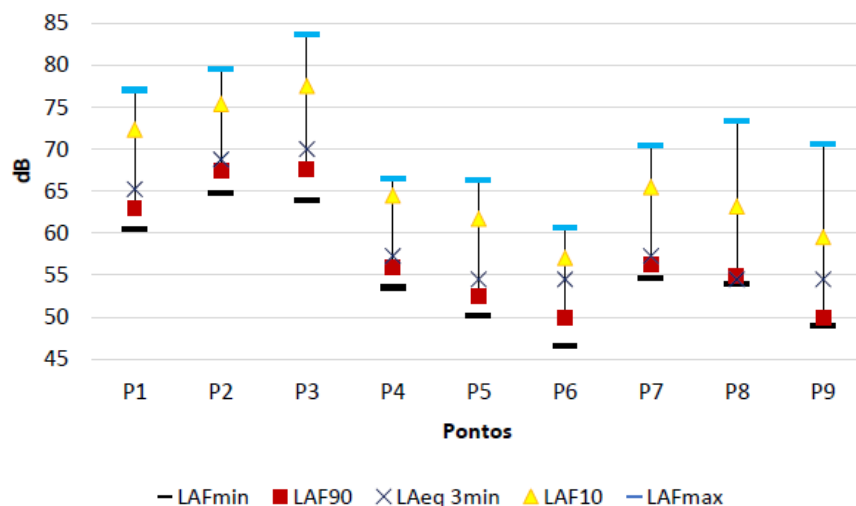
distribuição sonora sobre piso vegetado e pavimentado pode ser observada a partir dos valores médios de $L_{Aeq3min}$: 70 dB entre os pontos P1, P2 e P3, lindeiros à via, e 60 dB nos demais pontos em declive; ou seja, houve uma atenuação de 10 dB, porém sem distinção entre as condições de pavimentação. É possível que, para ambientes com um alto ruído devido ao fluxo intenso de veículos e pedestres, os solos absorvedores como gramíneas, não proporcionem atenuação sonora suficiente em relação ao piso pavimentado para pequenas distâncias entre a fonte e o receptor.

Figura 16 - Corte A-A



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Gráfico 7 - Descritores acústicos dos pontos do Corte A-A

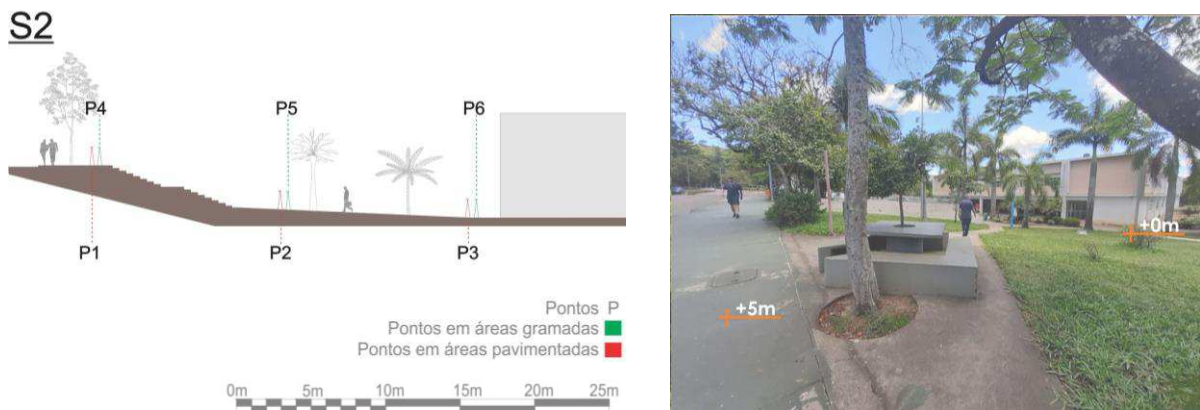


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Por fim, no Corte B-B (Figura 17), há uma disposição de pontos que, mesmo numa topografia não muito acentuada (desnível = +5m) devido ao grande

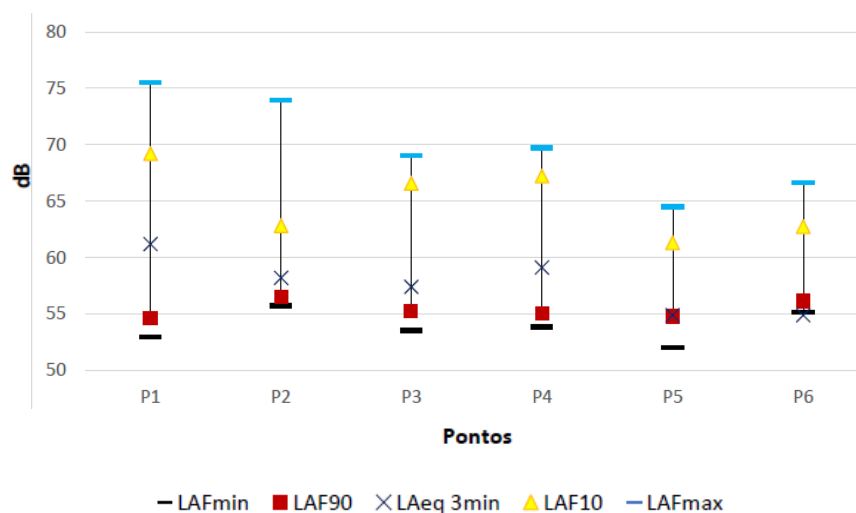
afastamento, foi constatada diminuição do descritor $L_{Aeq3min}$ entre 3 e 4 dB (Gráfico 8). Essa é uma área também próxima ao anel viário principal, porém não tão exposta ao fluxo veicular mais intenso decorrente da conexão Centro-Sul-Oeste do sistema viário do *campus*. Nos pontos em cima de solo gramado, notou-se uma diferença de até -7 dB em relação àqueles localizados na calçada. A variação entre os outros parâmetros acústicos foi maior nos casos em que o equipamento de medição estava fixado em cima de superfície refletora e não absorvedora. No caso dos pontos sobre piso pavimentado, foi possível observar o efeito de reflexão da fachada no último ponto de medição (P6), menos evidente pelo descritor $L_{Aeq3min}$. Assim, pôde-se observar uma atenuação progressiva na sequência de pontos sobre piso vegetado.

Figura 17 - Corte B-B



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Gráfico 8 - Descritores acústicos dos pontos do Corte B-B



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Nessa plataforma, o questionário foi aplicado apenas na zona mais calma, abaixo do nível em que está o anel viário principal por ser o local onde há pessoas

trabalhando. A sala de análise se caracteriza por ser um escritório compartilhado que tem abertura em toda sua extensão voltada para uma grande área externa, de passagem somente para pedestres, com presença de vegetação rasteira e árvores. Os respondentes desse ambiente foram do grupo B e D, ambos sem exposição diária a sons altos. Nos três períodos, os voluntários afirmaram ouvir os sons da natureza (25% do grupo B) e de pessoas conversando (75% do grupo B e 80% do D), sendo que esse ruído não incomoda os respondentes do grupo B (100%) e do grupo D (40%), mas também geram dificuldade de concentração a 60% do grupo D. Esses sons são explicados pelo fato de haver uma extensa área verde do lado externo, atraindo pessoas para o local, além de ter diversas outras salas de escritório naquele mesmo edifício separados apenas por divisórias, transmitindo o som de um lado para o outro. Apesar de incomodar, 90% do grupo D não fazem nada para mitigar o ruído, assim como o grupo B.

Tabela 14 - Respostas obtidas por respondentes da plataforma 1

Questão	Alternativa	Resposta por Grupo	
		B (jovens sem exposição ao som alto no dia-a-dia)	D (adultos sem exposição ao som alto no dia-a-dia)
Que tipo de som você está ouvindo do lado de fora, nesse momento?	Natureza	25%	-
	Conversa entre grupos de pessoas	75%	80%
	Nenhum	-	20%
Qual seu nível de incômodo quanto a esse som?	Não incomoda	100%	40%
	Dificuldade de concentração	-	60%
O que você faz para tentar diminuir esse som?	Não faço nada	90%	90%
	Fecho a porta/janela	-	10%
	Me mudo de lugar	10%	-

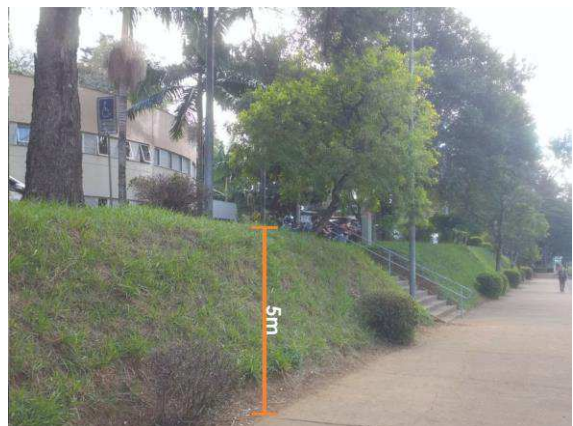
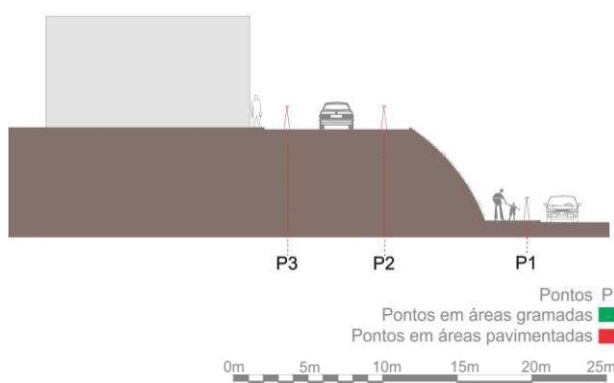
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

4.2.2 Plataforma 2

A plataforma 2 possui apenas uma via e vários bolsões de estacionamento por sua extensão. Apesar disso, nela não há uma zona de menor ruído bem definida já que sofre interferência com os altos NPS da plataforma 1, que possui o anel viário. Nessa área, todas as edificações possuem ambiente com janelas em toda a extensão da fachada principal que se abrem para a via. Além disso, é um local que também se encontra uma das estratégias estudadas, que é o uso de talude com superfície absorvedora para desnivelar os edifícios acadêmicos da via principal que está na plataforma 1. Sobre as estratégias projetuais, o Corte C-C (Figura 18) mostra que essa plataforma possui uma configuração com afastamento dos edifícios ao sistema viário principal do *campus* menor do que no Corte A-A, de somente 10 metros. Porém há um desnível acima de 5 metros das edificações em comparação a esse mesmo anel viário. O ponto P3 deste grupo, localizado mais próximo às construções desniveladas do sistema viário lindeiro, apresentou uma diminuição significativa de 12 dB em termos do $L_{Aeq3min}$ em relação ao ponto P1, que estava fixado no nível +0 metro, do anel viário. Isso demonstra que o talude é uma estratégia eficiente para a mitigação de ruídos, mesmo com a propagação acústica se desenvolvendo ao longo de um piso pavimentado. Nesse caso, todos os parâmetros acústicos (Gráfico 9) tiveram valores atenuados com a distância, sem efeito de reflexão da fachada. Mesmo assim, a média do NPS dessa área ficou bem acima do permitido, com 62 dB.

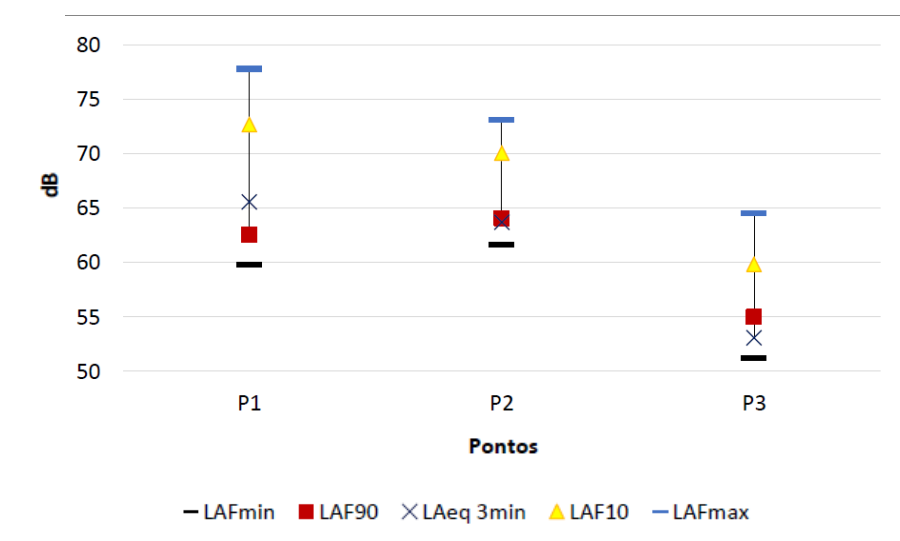
Figura 18 - Corte C-C

S3



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Gráfico 9 - Descritores acústicos dos pontos do Corte C-C



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Diferentemente das respostas obtidas na plataforma 1, nos três períodos, a maior queixa foi de ruído de veículos em ambos os grupos (83% do grupo A e 100% do grupo C). Das pessoas que estavam sentadas próximas a janelas ou portas, 66% dos grupos A e C disseram que muitas vezes são impedidas de ouvir bem o colega/professor e que têm dificuldades de concentração por causa do som externo. Mesmo assim, apenas respondentes do grupo C (100%) afirmaram fazer algo para mitigar o ruído, fechando as janelas/portas ou mudando-se de lugar. Do grupo A, todos preferem deixar tudo da mesma forma. Ambos os grupos gostariam que os ambientes da plataforma 2 fossem mais silenciosos. Nos horários do almoço e fim da tarde, os grupos B e C se dizem afetados, também com irritação (50%). Porém essa mesma metade não faz nada para diminuir o som.

4.2.3 Plataformas 3 e 4

Localizadas a aproximadamente +20m de desnível, as plataformas 3 e 4 se caracterizam por não possuírem um fluxo muito alto de pedestres e automóveis em nenhum período e, por isso, foram as que mais apresentaram uma constância de níveis sonoros baixos nos 3 horários. Além disso, elas não sofrem interferência da plataforma 1 (área de maior ruído no *campus*) com um aumento dos níveis de pressão sonora, possivelmente, devido a vegetação densa e a topografia. 16h30 às 18h30 foi o período em que as plataformas em questão menos se afetaram com o ruído geral do *campus* e

dos seus próprios platôs. A plataforma 3 apresentou ainda o menor valor geral, de 43 dB, nos pontos 52 e 55, devido ao fluxo baixo de automóveis e pedestres.

Todos os pontos onde houve a aplicação do questionário possuem abertura direta para uma via de tráfego automotivo ou corredores de pedestres, sendo pelo menos uma fachada com janelas em toda a extensão dos ambientes. Nessas duas áreas, percebe-se que há uma quantidade considerável de pessoas que disseram não ouvir nenhum barulho (32% do grupo A) ou o som da natureza (27% dos grupos A e C) com bastante frequência, no período de 07h30 às 09h30. Por isso, a porcentagem de voluntários que se dizem não incomodados e que não fazem nada para mitigar (46% em ambas as respostas, nos grupos A e C), também foi notável. Já no grupo B, as afirmações foram de se sentirem irritados por sempre ouvirem conversas entre pessoas do lado externo. Para diminuir o problema, esse grupo diz fechar a janela e/ou porta. Essas divergências nas opiniões dos grupos A e C com o grupo B podem ter ocorrido pelo fato dos dois primeiros já terem contato frequente com som alto no dia a dia, estando, então, acostumados com o ruído de pedestres, em contraponto ao terceiro grupo que, por não ter contato diário com som excessivo, qualquer ruído externo pode incomodar. A tabela abaixo mostra o resultado dos que se sentam ao lado de janelas ou portas, nos períodos do início e final da tarde.

Tabela 15 - Respostas obtidas por respondentes que se sentam ao lado da janela nos períodos de 11h30 às 13h30 e 16h30 às 18h30

Questão	Alternativa	Resposta
Esse som, nesse ambiente, te impede de ouvir bem o colega/professor?	Algumas vezes	73%
Qual seu nível de incômodo quanto a esse som?	Não incomoda	53%
	Dificuldade de concentração	40%
Em termos de ruído, você gostaria que esse ambiente:	Fosse mais silencioso	73%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

4.2.4 Plataforma 5

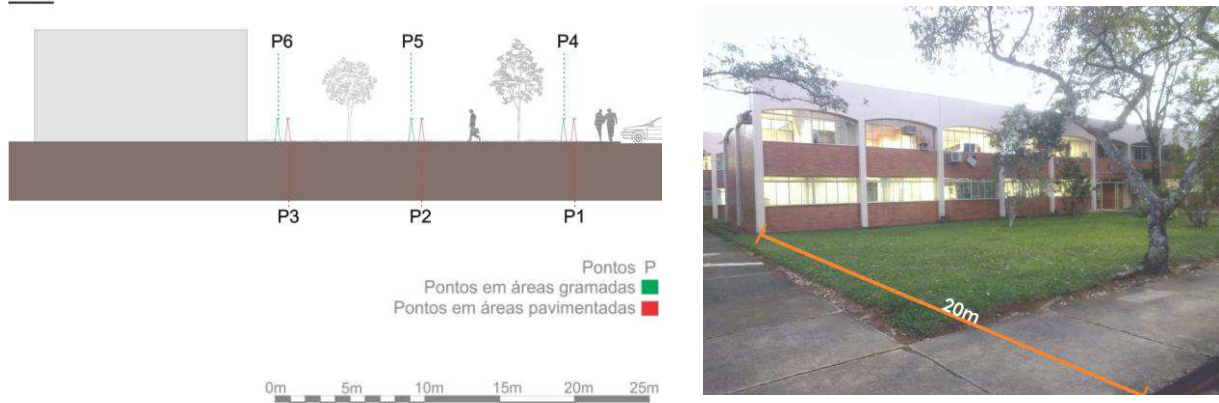
A plataforma 5 é caracterizada por ter a maior área de todas, em exceção da plataforma 1, com uma via que circunda todas as edificações do local. É nela que há o Restaurante Universitário (RU). Tal plataforma foi a que apresentou uma variação mais notável de NPS, entre os períodos da manhã e do final da tarde, em um

corredor de pedestres que tem o aumento do fluxo de um horário para o outro devido ao fato de ser o principal percurso para quem está indo ao RU e para quem está saindo ou chegando das aulas, já que há faculdades integrais, diurnas e noturnas.

Nessa plataforma, o Corte D-D das estratégias projetuais (Figura 19), que apresenta pontos distribuídos em uma área plana, tem um afastamento de 20 metros que ajudou para uma mitigação de até 4 dB em superfície de pavimentação asfáltica e até 10 dB em local gramado, sem grande massa vegetativa em termos do descritor $L_{Aeq3min}$. Essa diferença ocorre devido ao solo absorvente que a graminha possui em comparação à superfície refletora do pavimento de concreto. Sobre o revestimento pavimentado, foi observado com maior clareza o efeito da reflexão da fachada, com aumento dos valores de $L_{Aeq3min}$, entre os pontos P2 e P3, enquanto entre os pontos P3 e P4 os valores do mesmo descritor se mantiveram estáveis. Quanto aos parâmetros $L_{AFeqmin}$, $L_{AFeqmax}$, L_{AF10} e L_{AF90} (Gráfico 10), a maior variação foi no ponto P4 que se encontra em uma área gramada, porém bem próxima ao passeio de concreto e à via asfáltica. Por isso, o NPS da plataforma teve uma média ótima de 49 dB.

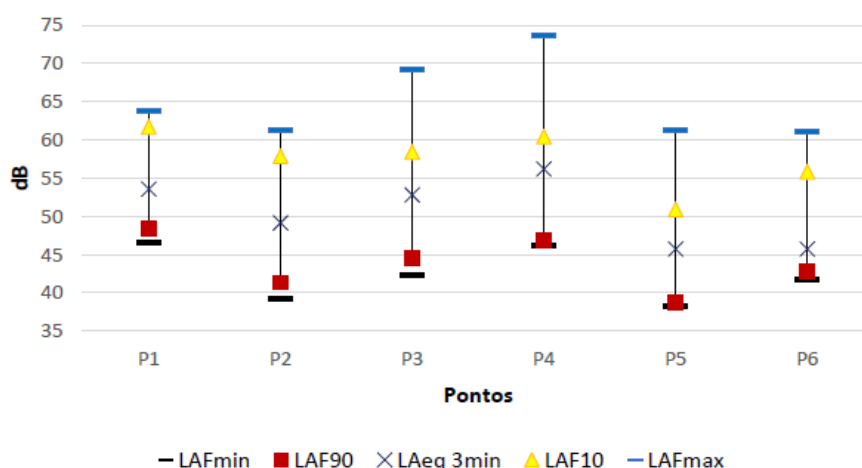
Figura 19 - Corte D-D

S4



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Gráfico 10 - Descritores acústicos dos pontos do Corte D-D



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Mesmo assim, tal plataforma pode ser classificada como uma zona ruidosa, principalmente, por atrair a população de toda a universidade, nos três períodos, devido ao RU. Os ambientes estudados também possuem janelas por toda sua extensão, em pelo menos uma fachada, voltadas à via de automóveis ou a corredores de pedestres. Nos três períodos, os voluntários jovens e adultos de pouca ou muita exposição ao som alto no dia a dia disseram que o ruído de conversa entre pessoas (61%) é mais ouvido que o de tráfego de veículos (24%) (Tabela 16). Isso pode ser explicado pelo fato dessa plataforma ter diversos afastamentos dos edifícios em relação a via, sendo esses com distâncias consideráveis, o que significa que há mais áreas de circulação de pedestres e de superfícies absorvedoras, fazendo com que os ruídos das fontes sonoras de tráfego rodoviário demorem mais a chegar ao receptor.

Tabela 16 - Respostas obtidas por respondentes da plataforma 5

Questão	Alternativa	Respostas por Grupo		
		A	B	C
Que tipo de som você está ouvindo do lado de fora, nesse momento?	Natureza	18%	20%	28%
	Conversa entre pessoas	63%	60%	42%
	Tráfego de automóveis	23%	40%	28%
	Nenhum	17%	-	14%
	Outro (obra)	10%	20%	14%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Mesmo esses ruídos gerando algum tipo de incômodo a 46% dos voluntários, nenhum deles faz nada para mitigar o problema. Porém, 60% deles gostariam que os

ambientes fossem mais silenciosos. Nessa plataforma, o tempo de reverberação foi calculado em dois ambientes que são muito prejudicados pelo ruído (Tabela 17) devido ao seu próprio fluxo de veículos e pessoas, por serem localizados próximos à via ou à corredores. Vê-se que o TR calculado foi ultrapassado em até mais que o dobro do TR ideal, devido à falta de tratamento acústico das salas, o que quer dizer que esses locais sofrem com muitas reflexões sonoras advindas do ruído externo, prolongando o tempo de duração desses sons dentro do ambiente até ele se cessar. Sendo assim, esse fator pode ajudar a justificar a insatisfação dos seus usuários (70% gostariam que essas salas fossem mais silenciosas).

Tabela 17 - Tempo de reverberação ideal e calculado das salas de aula mais prejudicadas da plataforma 5

	Tempo de Reverberação Ideal (s)	Tempo de Reverberação Calculado (s)
Ponto Interno 7	0,7	2,0
Ponto Interno 12	0,7	1,4

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

4.2.5 Plataformas 6, 7 e 8

As plataformas 6 e 7 são as que apresentam menor metro quadrado de via para circulação de automóveis. Porém a área total da plataforma 6 também é pequena, o que pode praticamente se equiparar ao tamanho destinado aos veículos. Mesmo assim, nas duas plataformas o fluxo de automóvel é considerado baixo, sendo que na plataforma 7 há muito mais a presença de pedestres. Pelo fato da topografia da plataforma 6 ser plana e a área ser pequena, o NPS no local é homogêneo, com média de 54 dB. Já na plataforma 7, há um grande desnivelamento (+10m) entre a sua via principal que dá acesso à pedestres e veículos e o bloco de salas de aula e coordenação que tem passagem somente para pedestres. No horário do almoço houve uma redução de 4 dB em relação aos pontos 42 e 43, que tiveram valores de NPS dentro do permitido pela WHO (1999), de 51 e 55 dB, respectivamente.

Assim como na plataforma 3, a 8 também apresentou o menor NPS, de 43 dB, no ponto 95, por ser um local de pouca passagem de pedestres e automóveis. Além disso, é um local que apresenta superfície absorvedora em todo seu entorno que, mesmo sendo vegetação rasteira, pode contribuir para a mitigação do ruído, visto que este não é tão constante nessa área. O maior nível de pressão sonora registrado foi de 57 dB, no horário de 16h30 às 18h30, próximo ao principal ponto de ônibus e acesso do

local. Na média, a faixa de valores de NPS na plataforma 8 foi constante, o que comprova a homogeneidade do som, assim como em outras plataformas menos movimentadas. Nota-se que aqui também há uma certa constância de níveis sonoros baixos nos 3 períodos, provando que a plataforma 1 não tem influência no aumento do NPS devido a vegetação densa existente entre as plataformas.

Quanto aos questionários, as plataformas 7 e 8 tiveram comportamentos semelhantes entre a percepção dos respondentes, por serem consideradas zonas menos ruidosas devido ao baixo fluxo automotivo e de pedestres, em comparação às outras mais ruidosas. Nesses locais, assim como nos demais ambientes já apresentados, também há aberturas por toda extensão das salas, voltadas às vias de veículos e corredores. Nos três períodos, percebe-se que, assim como nas plataformas 3 e 4 (Tabela 18), o percentual de pessoas que dizem escutar o som da natureza (26% dentre todos os grupos) ou não escutar nada (14% dentre os grupos A, B e C) é bastante considerável, visto que, em outros casos, essas hipóteses nem aparecem. Mesmo assim, o principal agente causador continua sendo a conversa entre pessoas (51%), seguido do tráfego de automóveis (33%). Na plataforma 7, o percentual sobre o ruído mais ouvido pode ser explicado devido à localização do edifício estar a +10m da via de veículos, sendo acessado apenas por pedestres. Já na plataforma 8, o motivo é a maior concentração de pessoas nos corredores dentro dos períodos estudados. Dentre os jovens (grupos A e B), quase a mesma porcentagem foi dada aos que têm dificuldade de concentração (33%) e aos que não se incomodam (35%) com o ruído externo. Porém pouco mais da metade deles não fazem nada para mitigá-lo (53%). Já os adultos (grupos C e D) não apresentaram queixas quanto a incômodo e impedimento de ouvir terceiros, possivelmente porque eles ficam em ambientes menores e com menos pessoas presentes, conseguindo obter mais foco que em salas de aula, por exemplo.

Tabela 18 - Respostas obtidas por respondentes das plataformas de zona menos ruidosa quanto ao tipo de som mais ouvido externamente aos ambientes

Questão	Alternativa	Resposta por Plataformas	
		3 e 4	7 e 8
Que tipo de som você está ouvindo do lado de fora, nesse momento?	Conversa entre grupos de pessoas	70%	51%
	Tráfego de automóveis	26%	33%
	Natureza	27%	26%
	Nenhum	32%	14%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

4.2.6 Plataforma 9

A plataforma 9 é a única que não tem nenhum acesso de veículos a não ser um pequeno bolsão de estacionamento nas laterais da plataforma, com ligação direta para o anel viário principal. Nela, assim como na 2, há um talude com superfície absorvedora de desnível igual a +5m. Essa estratégia ajudou a diminuir o ruído em até 7 dB, no período de 16h30 às 18h30. Nos pontos 77 e 80 houve o menor registro, de 43 dB (nos períodos da manhã e início da tarde, respectivamente), assim como pontos das plataformas 3 e 8 (no período do fim de tarde), por serem locais que possuem somente passagem de pedestres e ainda terem edifícios por perto trabalhando como barreiras sonoras. Porém isso não retrata a média geral da área frontal da plataforma 9, que é alta (65 dB), mesmo com a redução proporcionada pela estratégia de desnivelamento dos platôs, devido ao alto fluxo da plataforma 1. Esse problema é grave, pois há muitas salas de aula com aberturas para esses pontos de alto NPS, assim como na plataforma 2.

Os ambientes estudados nessa área são salas de aula e coordenação, com grandes aberturas de janelas, voltadas aos corredores de pedestres e ao anel viário principal. Nos três períodos, entre os grupos A, B e C, independentemente de onde as pessoas costumam se sentar, o tipo de som mais ouvido é o de tráfego de automóveis (81%), seguido de conversa entre grupo de pessoas (45%). Porém é interessante notar também a percepção do som da natureza por boa parte dos respondentes (28%), devido à presença de algumas árvores muito próximas aos blocos de edifícios. Além disso, no horário de 07h30 às 09h30, os voluntários do grupo A que se sentam ao lado das aberturas disseram perceber também barulho de obras (30%), mesmo este não sendo recorrente no *campus*. Essa não recorrência de um som diferente do habitual

pode explicar o porquê dos voluntários o terem percebido. Tanto no período da manhã como no do almoço, os três grupos (grupos A, B e C) disseram não se incomodar (50%), ter dificuldades de concentração (27%) ou se irritar (18%) com esses ruídos externos. Isso mostra que a metade dos usuários estão acostumados a esse tipo de ruído mais recorrente, sendo um ponto agravante. Já no horário de 16h30 às 18h30, a queixa maior foi de dificuldade de concentração (51%), possivelmente, por já estarem exaustos do decorrer do dia. Em qualquer horário, os três grupos afirmam não fazer nada para tentar mitigar o problema (72%) ou, por vezes, fecham as portas e janelas (30%).

4.2.7 Plataforma 10

Por fim, a plataforma 10 foi identificada com as mesmas características que a plataforma 8, apresentando uma certa constância nos seus níveis sonoros, com um intervalo de 46 a 49 dB, na média. Apenas o ponto 104 teve uma alta de +6 dB em relação ao NPS mais alto do intervalo devido, possivelmente, a uma área comum que tem entre a cantina e o único ponto de ônibus da plataforma. Nessa área só é permitido o acesso de pedestres. Mesmo com esse pico, todos os valores dessa região se enquadram na norma nacional ou internacional. Esses baixos registros são explicados pelo fato do baixo fluxo de pedestres e automóveis em qualquer período.

Essa plataforma se enquadra nas zonas menos ruidosas, em que não há tanto fluxo de pedestres e nem automóveis em nenhum horário do dia, comparado às plataformas ruidosas. Os ambientes analisados também possuem esquadrias por toda extensão de uma das fachadas voltada para a via. Nos períodos de 07h30 às 09h30 e 11h30 às 13h30, os sons mais ouvidos pelos grupos C e D foram conversas entre pessoas (100%) e tráfego de automóveis (75%). Mas, metade deles dizem nunca/quase nunca terem dificuldades de ouvir a outra pessoa por causa desses ruídos. Mesmo assim, essa mesma quantidade tem dificuldades de concentração. Nessa área, 75% fecham as janelas ou portas para tentar mitigar o problema e 50% gostariam que esses ambientes fossem mais silenciosos. Já no horário de 16h30 às 18h30, o ruído externo é ainda menos frequente por ter menos fluxo de pessoas no local. Por isso, independentemente de onde se está sentado nas salas, tanto o grupo A quanto o grupo D afirmaram não ouvir nada do lado de fora (72%). Assim, 81% não se incomodam com nenhum ruído externo, em contraponto a apenas 18% que se irritam por eventuais

sons. Essa plataforma, nesse horário, foi a única que apresentou satisfação dos usuários por não quererem mudanças nos ambientes analisados (90%).

4.2.8 Considerações gerais

Apesar dos altos valores no geral, analisando separadamente cada período, vê-se que a porcentagem de pontos que atendem a norma menos restritiva de 55 dB é quase a mesma que a quantidade de pontos que ultrapassam as duas recomendações: No horário de 7h30 às 9h30, 45% do total de pontos estão dentro do valor estipulado pela WHO (1999) em contraponto a 55% que estão acima de 55 dB; já nos períodos de 11h30 às 13h30 e de 16h30 às 18h30, essa relação é de 47% e 53%. Entretanto, comparados ao valor mais restritivo de 50 dB, essas porcentagens caem para 24%, 18% e 27% nos três períodos respectivos. Isso significa que há uma área bastante considerável de zonas mais calmas no *campus* (considerando 55 dB), já que a porcentagem é de quase 50% em qualquer período. Porém a porcentagem geral de zonas calmas na UFJF ainda não é suficiente se tratando de uso educacional, já que a minoria atende a norma mais restritiva.

Percebe-se que em praticamente todas as plataformas há um ponto afetado pelo alto nível de pressão sonora em um dos períodos avaliados, o que pode causar incômodo à comunidade universitária. Em todos os pontos dos Cortes analisados é possível notar que os afastamentos e/ou o uso de taludes para o desnivelamento das edificações em relação a via, a vegetação densa e a topografia acentuada, de fato, auxiliam para a diminuição do ruído de tráfego, exercendo papéis importantes como atenuadores dos níveis de pressão sonora, uma vez que funcionam como difusores e absorvedores de ondas sonoras. Mesmo assim, a realidade atual do *campus* contrasta com os valores estipulados pelas normas nacionais e internacionais devido ao alto fluxo de pessoas e veículos.

A homogeneidade do tipo de ruído gerado no *campus* pode explicar as semelhanças nas respostas independentemente de a plataforma ser mais ou menos ruidosa, do horário de pico, ou ainda dos grupos de respondentes e da posição das pessoas nas plataformas. A proximidade das salas às vias e aos corredores de pedestres também pode justificar possíveis queixas feitas pelos jovens e adultos. Outra possível explicação se deve ao fato de que o formato e tipo de material aplicados nos ambientes internos estudados são semelhantes, fazendo com que o tempo de

reverberação seja alto em todo o *campus*, assim como demonstrado nas salas da plataforma 5.

Vê-se que o objetivo geral de identificar a influência do nível de pressão sonora do *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora na percepção e no comportamento dos usuários dentro dos ambientes foi alcançado e que a hipótese da pesquisa foi confirmada em partes. As medições externas e internas mostraram que o NPS de alguns pontos do *campus* ultrapassa os limites estipulados por normas, com valores que são considerados prejudiciais à saúde afetando, assim, a comunidade acadêmica. Porém, o resultado dos questionários mostra que uma boa parcela dos usuários sente algum incômodo com o ruído do *campus* (dificuldade de concentração, dores de cabeça ou similar, irritação, dentre outros), no entanto, a maioria não tem nenhuma ação de mitigação do problema, fazendo com que esses sons não influenciem seu comportamento dentro dos ambientes, mesmo que sejam afetados a curto ou longo prazo.

5 CONCLUSÃO

A pesquisa identifica a influência do nível de pressão sonora do *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora na percepção e no comportamento dos usuários dentro dos ambientes. O estudo foi realizado por meio de medições *in loco* nas áreas externas e ambientes internos em toda a universidade e foram comparados às recomendações de normas nacionais e internacionais. Foram ainda aplicados questionários a uma amostra de 626 participantes como forma de avaliar suas experiências e percepções em relação ao ruído no *campus*. Além disso, foram identificadas e avaliadas as estratégias projetuais adotadas no projeto do *campus* que promovem a mitigação do ruído.

O teste piloto realizado no início deste trabalho foi essencial para dar início à parte prática da pesquisa, pois, assim, houve um primeiro contato do pesquisador e dos bolsistas com os equipamentos e com os usuários, esclarecendo quais as dificuldades que necessitariam de mais atenção no momento da aplicação geral e o que deveria ser modificado para impossibilitar falhas bruscas.

Analisando os resultados, notou-se que o ruído geral do *campus* não é adequado para uma área educacional, uma vez que 80% dos pontos medidos no ambiente externo excederam o recomendado pela norma brasileira NBR 10.151 (ABNT, 2019) e 50% superaram os limites menos restritos da WHO (1999). Nos ambientes internos, o número de pontos com nível de pressão sonora acima do recomendado pela NBR 10.152 (ABNT, 2017a) e WHO (1999) foi de 100%, o que pode causar problemas físicos e psicológicos à comunidade acadêmica. Mesmo assim, analisando os períodos separadamente, consegue-se encontrar algumas áreas que podem se enquadrar em zonas calmas. Assim, através das medições externas, as plataformas foram caracterizadas como mais (Plataformas 1, 2, 5 e 9) e menos (Plataformas 3, 4, 6, 7, 8 e 10) ruidosas, de acordo com o fluxo alto ou baixo de pedestres e automóveis de cada uma, sendo, como critério, a constância de pontos muito acima ou abaixo de 55 dB. As variações de faixa de NPS foram de 45 a 73 dB, dentre os três períodos, de acordo com cada área.

Mesmo com os altos níveis de pressão sonora registrados, os resultados do questionário não refletem a dimensão real desse problema, uma vez que o distúrbio do ruído nem sempre é claramente percebido, independente do grupo de pessoas (jovens ou adultos que mantêm, ou não, contato com altos níveis sonoros durante suas rotinas). Os resultados mostram que 46% dos 626 voluntários não são perturbados pelo som

existente, tornando a poluição sonora despercebida pela população. Nota-se que, independentemente do lugar em que os usuários estivessem sentados dentro do ambiente (perto ou longe de janelas/portas ou no meio das salas), não houve distinção quanto às respostas.

Muitos dos usuários não seguem nenhum procedimento para melhorar as condições sonoras do ambiente. Uma possível hipótese que ajude a explicar o porquê disso é o fato de estarem em um país de clima tropical e em edifícios que não possuem um sistema de refrigeração eficaz (como o ar-condicionado), assim como na maioria das universidades federais do Brasil. Nesse contexto, as janelas e portas são os únicos meios de controle da ventilação do local, fazendo com que, em dias quentes, a preferência dos usuários seja em manter as janelas abertas para melhorar o conforto térmico mesmo com o prejuízo do conforto acústico. Com isso, tem-se aqui um limite da pesquisa já que não foi feito o estudo dos outros tipos de conforto ambiental associados ao acústico. Para os trabalhos futuros, sugere-se incluir a análise conjunta de todos esses tipos de conforto ambiental a fim de que se consiga descobrir a real influência deles no comportamento dos usuários dentro dos ambientes.

Entre as plataformas, também não houve muita distinção nas respostas, independentemente se era uma zona mais ou menos ruidosa. Dessa forma, a maior queixa foi de conversa entre pessoas e tráfego veicular, sendo que os usuários que se incomodam têm, em sua maioria, dificuldade de concentração e irritação quanto ao som externo. Apenas a plataforma 10 estaria dentro dos desejos dos usuários de não precisar ser modificada para que fosse mais silenciosa, possivelmente pelo fato de ser uma área com um fluxo automotivo e de pedestres muito baixo, principalmente quando comparado às outras plataformas.

Quanto às estratégias projetuais elencadas na pesquisa, foram constatados que a aplicação de afastamentos da via à edificação e o uso de taludes para o desnivelamento das edificações em relação a via (ambos com superfícies de alta taxa de absorção sonora), de fato, contribuem para a mitigação do elevado NPS no *campus*. Porém, mesmo com a eficiência das estratégias de mitigação, estas ainda não asseguram índices de qualidade ambiental acústica recomendados pela NBR 10.151 (ABNT, 2019) e WHO (1999), já que o NPS de alguns pontos do *campus* vai muito além do permitido. De qualquer forma, observa-se que os usuários não percebem que estão sob impacto de elevados índices de ruído que podem comprometer sua saúde. Todavia, percebendo ou não, eles não tomam medidas que poderiam reduzir o impacto do som. Com isso, conclui-se que, para o planejamento de um *campus* universitário, as

estratégias urbanísticas de afastamento e desnivelamento das áreas acadêmicas em relação a fonte de ruído, seja de pedestres ou de automóveis (utilizando-se principalmente de superfícies absorvedoras), e o uso de uma grande massa vegetativa podem ser muito eficazes quanto a mitigação de ruídos locais.

Ainda há a necessidade de testes reais de alternativas arquitetônicas e urbanísticas para redução de ruído de acordo com as propostas disponíveis no mercado. A promoção de condições acústicas adequadas depende de uma ação conjunta entre o planejamento do *campus* e o design das salas. Assim, é importante considerar a posição dos edifícios, caminhos, vias, equipamentos urbanos, bem como as aberturas e acabamentos das salas. Espera-se poder contribuir com dados que auxiliam nas intervenções futuras tanto no *campus* da UFJF quanto nos demais *campi* que possuem características próximas, além de contribuir para o planejamento de Planos Diretores de novas universidades, beneficiando a comunidade acadêmica e ainda os usuários interessados ao lazer e atividades físicas, e ainda acrescentar ao campo da pesquisa com dados inéditos sobre ruído em ambientes institucionais.

A proximidade dos *campi* universitários com os aglomerados urbanos pode tornar os espaços acusticamente degradados. Por isso, também é imprescindível investigar se neles estão previstos métodos de mitigação quando do aumento do ruído de acordo com o fluxo que esses locais geram. Além disso, este estudo também cria oportunidades para trabalhos futuros instigando o aprofundamento do tema na própria universidade ou, até mesmo, em outros locais da cidade. A medição do tempo de reverberação e inteligibilidade da fala merecem destaque em várias tipologias de salas de aula, auditório e biblioteca, pois são parâmetros muito importantes para o melhor rendimento do usuário. Além disso, é interessante ainda de se estudar sobre o impacto do ruído do *campus* nos praticantes de atividade física, uma vez que a universidade recebe diversas pessoas voltadas a essas práticas.

REFERÊNCIAS

- AL-MOSAWE, Hasan Mosa; ALOBAYDI, Dhirgham; ALBAYATI, Amjad. Development of traffic noise prediction model in an educational urban area. **Civil Engineering Journal**, [s.l.], v. 4, n. 11, p. 2588–2595, nov. 2018. Disponível em: <https://www.civilejournal.org/index.php/cej/article/view/1054>. Acesso em: abril 2019.
- ALETTA, Francesco; KANG, Jian. Soundscape approach integrating noise mapping techniques: a case study in Brighton, UK. **Noise Mapping**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 1–12, jul. 2015. DOI: 10.1515/noise-2015-0001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282867447_Soundscape_approach_integrating_noise_mapping_techniques_A_case_study_in_Brighton_UK. Acesso em: abril 2019.
- ARCURI, Arthur. **A arquitetura de Arthur Arcuri**. Entrevistador: Klaus Chaves Alberto. Juiz de Fora, 20 mar. 2006a.
- ARCURI, Arthur. **Urbanismo moderno em Juiz de Fora**: a construção do campus universitário da UFJF. Entrevistadores: Klaus Chaves Alberto e Aline Assis. Entrevista com coleta de imagens e áudio. Juiz de Fora, 20 de agosto 2006b. 1 fita mini DV (60 min.).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.179**: tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro. ABNT, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16.313**: acústica - terminologia. Rio de Janeiro. ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.152**: acústica – níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro. ABNT, 2017a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 3.382-2**: acústica - medição de parâmetros de acústica de salas - parte 2: tempo de reverberação em salas comuns. Rio de Janeiro. ABNT, 2017b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.151**: acústica - medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - aplicação de uso geral. Rio de Janeiro. ABNT, 2019.
- BASTOS, Mara Medina. **As estratégias de implantação física de Universidades Federais no Brasil**: um estudo comparativo entre dois períodos de expansão 1960-1970 e 2000-2010. 2019. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2019.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasil, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: agosto 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997**. Brasil, 1997. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1997/lei-9503-23-setembro-1997-372348-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: agosto 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Brasil, 1998. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1998/lei-9605-12-fevereiro-1998-365397-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: agosto 2019.

BRASILEIRO, Tamáris da Costa. **Mapeamento sonoro**: estudo do ruído urbano no bairro Castelo Branco, em João Pessoa/PB. 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

BRASILEIRO, Tamáris da Costa; ARAÚJO, Bianca Carla Dantas de. Mapeamento sonoro do bairro Castelo Branco, em João Pessoa / PB. *In*: XIV ENCAC ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO X ELACAC ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, Balneário Camboriu. **Anais [...]**. Balneário Camboriu: 2017.

BRITO, Emanuela Cristina Argolo. **Uma reflexão sobre o conforto acústico em ambiente universitário**. 2016. Dissertação (Mestrado em Estudos Interdisciplinares Sobre a Universidade) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

CALLEJA, A., DIAZ-BALTEIRO, L., IGLESIAS-MERCHAN, C., SOLINO, M. Acoustic and economic valuation of soundscape: an application to the 'Retiro' Urban Forest Park. **Urban Forestry and Urban Greening**, [s.l.], v. 27, p. 272–278, 2017.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S161886671730287X?via%3Dihub>. Acesso em: junho 2019.

CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, 2010.

ÇOLAKKADIOĞLU, Deniz; YUCEL, Muzaffer; KAHVECI, Baris; AYDINOL, Ozum. Determination of noise pollution on university campuses: a case study at Çukurova University campus in Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s.l.], v. 190, n. 4, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-018-6568-8>. Acesso em: junho 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 1, de 8 de março de 1990**. Brasil, 1990a. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=98>. Acesso em: agosto 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 1, de 11 de fevereiro de 1993**. Brasil, 1993a. Disponível em:
<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=124>. Acesso em: agosto 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 2, de 8 de março de 1990**. Brasil, 1990b. Disponível em:
<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=99>. Acesso em: agosto 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 2, de 11 de fevereiro de 1993**. Brasil, 1993b. Disponível em:
<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=125>. Acesso em: agosto 2019.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Conama nº 252, de 29 de janeiro de 1999**. Brasil, 1999. Disponível em:
<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=252>. Acesso em: agosto 2019.

DE SOUZA, T. B.; ALBERTO, K. C.; BARBOSA, S. A. Evaluation of noise pollution related to human perception in a university campus in Brazil. **Applied Acoustics**, v. 157, p. 1–11, 2020. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X1930283X>. Acesso em: fevereiro 2020.

EL-SHARKAWY, M.; ALSUBAIE, A. S. R. Study of environmental noise pollution in the University of Dammam campus. **Saudi Journal of Medicine & Medical Sciences**, [s.l.], v. 2, n. 3, p. 178-184, 2014. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/270983088_Study_of_Environmental_Noise_Pollution_in_the_University_of_Dammam_Campus. Acesso em: junho 2019.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Good practice guide on quiet areas**. Luxemburgo: publications office of the European Union, 2014. Disponível em:
<https://www.eea.europa.eu/publications/good-practice-guide-on-quiet-areas>. Acesso em: janeiro 2019.

FLORÊNCIO, Débora; BRASILEIRO, Tamáris; ARAÚJO, Eduardo; ARAÚJO, Virgínia; ARAÚJO, Bianca. Análise estatística do ruído de tráfego como validação para mapeamento acústico. *In*: XIV ENCAC ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO X ELACAC ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, Balneário Camboriu. **Anais** [...]. Balneário Camboriu: 2017.

GIERKE, H. E. V.; ELDRED, K. M. Efeitos do ruído no homem. **Acústica e vibrações**, [s.l.], v. 19, p. 2–29, 1997.

GIUNTA, Mariene Benutti; SOUZA, Léa Cristina Lucas de. Análise de metodologias de mapeamento sonoro. *In*: XIV ENCAC ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO

NO AMBIENTE CONSTRUÍDO X ELACAC ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2011, Búzios. **Anais** [...]. Búzios: 2011.

GUEDES, M.; VALADAS, B.; BENTO COELHO, J. L. Exposição ao ruído da população em Portugal. *In*: 28º TECNIACUSTICA, 1997, Oviedo. **Anais** [...]. Oviedo: 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9613-1**: acoustics — attenuation of sound during propagation outdoors — part 1: calculation of the absorption of sound by the atmosphere. Suíça: 26 p., 1993.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9613-2**: acoustics — attenuation of sound during propagation outdoors — part 2: general method of calculation. Suíça: 18 p., 1996.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996-1/2016**: acoustics — description, measurement and assessment of environmental noise — part 1: basic quantities and assessment procedures. Suíça: 47 p., 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996-2**: acoustics — description, measurement and assessment of environmental noise — part 2: determination of sound pressure levels. Suíça: 60 p., 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996-3**: acoustics — description and measurement of environmental noise — part 3: application to noise limits. Suíça: 3 p., 1987.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 18233**: acoustics — application of new measurement methods in building and room acoustics. Suíça: 26 p., 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE divulga as estimativas da população dos municípios para 2019**. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25278-ibge-divulga-as-estimativas-da-populacao-dos-municipios-para-2019>>. Acesso em: fevereiro 2020.

JOHN, Jolly; THAMPURAN, Asha Latha; PREMLET, B. Objective and subjective evaluation of acoustic comfort in classrooms: a comparative investigation of vernacular and modern school classroom in Kerala. **Applied Acoustics**, [s.l.], v. 104, p. 33–41, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X15002686?via%3Di> hub. Acesso em: janeiro 2019.

KRUMENAUER, M., KINZEL, E., GONZALEZ, M. S. Níveis de pressão sonora equivalente no entorno do campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). *In*: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2015, Passo Fundo. **Anais** [...]. Passo Fundo: 2015.

LEONEL, R. H. Regulación administrativa municipal de la contaminación por ruido en San Nicolás de los Garza. *In: CONGRESSO MEXICANO DE ACÚSTICA*, 1994, Monterrey. **Anais** [...]. Monterrey: 1994.

LI, Feng; WU, Mingchuan; LAI, Cong; CHEN, Shenchang; XU, You; DU, Canyi; CAI, Ming; LIU, Jike. A maximum noise-level prediction method for high-speed railways in China: a case study using the Baiyun campus of Guangdong Polytechnic Normal University. **Applied Acoustics**, [s.l.], v. 150, p. 124–131, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X18304560?via%3Dihub>. Acesso em: agosto 2019.

MACEDO, M. R. V.; SLAMA, J. G. Avaliação pós-ocupação acústica e a gestão ambiental urbana. *In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA*, 2000, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: 2000.

MACHADO, Ernani. Simplício. **Avaliação pós-ocupação acústica em unidades básicas de saúde: um estudo na cidade de Juiz de Fora - MG**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

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**, [s.l.], v. 10, n. 2, p. 400–413, 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2175-33692018000200400&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: outubro 2018.

MARCHETE, Amanda; CUNHA, Agostinho V. L. Avaliação dos níveis de ruído em ambientes escolares no Instituto Federal do Espírito Santo – campus Colatina. *In: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 2015, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: 2015.

MINAS GERAIS. **Lei nº 7.302, de 21 de julho de 1978**. Brasil, 1978. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=61>. Acesso em: agosto 2019.

MINAS GERAIS. **Lei nº 10.100, de 17 de janeiro de 1990**. Brasil, 1990. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2229>. Acesso em: agosto 2019.

MORAES, Elcione; MELO, Gustavo; RAMOS, Denilson; UAKTI, Mintiyara. A contaminação acústica na cidade universitária da Universidade Federal do Pará em Belém. *In: XII ENCAC ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO VIII ELACAC ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 2013, Brasília. **Anais** [...]. Brasília: 2013.

MOREIRA, Karina Morato Campos. **Avaliação de propriedades fono-absorventes de materiais para painéis de revestimento**. 2009. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

MURGEL, Eduardo. **Fundamentos de acústica ambiental**. São Paulo: Senac,

2007.

NAGEM, Miriam Pompeu. **Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, 2004.

NAVARRO, Wu Chiang. K.; BRUNA, Gilda C. Influência do desenho arquitetônico e do urbanismo na paisagem sonora da rua Oscar Freire. *In*: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2015, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: 2015.

NIEMEYER, Maria Lygia Alves de. **Conforto acústico e térmico, em situação de verão, em ambiente urbano**: uma proposta metodológica. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

NOWOSWIAT, Artur; SLUSAREK, Jan; ZUCHOWSKI, Rafał; PUDEŁKO, Bartłomiej. The impact of noise in the environment on the acoustic assessment of green houses. **International Journal of Acoustics and Vibration**, [s.l.], v. 23, n. 3, p. 392-401, 2018. Disponível em: https://iiav.org/ijav/content/volumes/23_2018_745361521539384/vol_3/1442_fullpaper_1484221537865022.pdf. Acesso em: agosto 2019.

NTUI, Aniebiet Inyang. Noise sources and levels at the University of Calabar Library, Calabar, Nigeria. **African Journal of Library, Archives and Information Science**, [s.l.], v. 19, n. 1, p. 53–63, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/289639748_Noise_Sources_and_Levels_at_the_University_of_Calabar_Library_Calabar_Nigeria. Acesso em: outubro 2018.

OZER, Serkan; ZENGIN, Murat; YILMAZ, Hasan. Determination of the noise pollution on university (education) campuses: a case study of Ataturk. **Ekoloji**, [s.l.], v. 90, p. 49–54, 2014. Disponível em: <http://www.ekolojidergisi.com/article/determination-of-the-noise-pollution-on-university-education-campuses-a-case-study-of-ataturk>. Acesso em: outubro 2018.

PENTEADO, Ana Paula Bonini; NETO, Alfredo Iarozinski. Análise da percepção dos sons por orientação profissional do entrevistado e por gênero do usuário do ambiente. *In*: XIV ENCAC ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO X ELACAC ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, Balneário Camboriu. **Anais [...]**. Balneário Camboriu: 2017.

PINTO, Débora Nogueira. **Mapeamento acústico como ferramenta para predição de ruído urbano na área de influência do Estádio Arena das Dunas, Natal / RN**. 2013. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA. **Lei complementar nº 082, 2018**. Brasil, 2018. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/mg/j/juiz-de-fora/lei-complementar/2018/9/82/lei-organica-juiz-de-fora-mg>. Acesso em: agosto 2019.

RAZDAN, Anjula. **The father of acoustic ecology a conversation with R. Murray Schafer**. Disponível em: <<https://www.utne.com/arts/r-murray-schafer-father-of-acoustic-ecology>>. Acesso em: agosto 2019.

RIOS, A. M.; SILVA, E. S. Evaluación de impacto ambiental en Chile: discusión de criterios involucrados para la contaminación acústica. *In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA*, 1995, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: 1995.

SANTANA, A.L.S.; TORO, M.G.U.; SOEIRO, N.S.; MELO, G.S.V. **Avaliação acústica em salas de aula em escolas públicas na cidade de Belém-PA**. *In: I WORKSHOP DE VIBRAÇÃO ACÚSTICA DA REGIÃO NORTE*, 2011, Grupo de Vibrações Acústicas (GVA). Belém: 2011.

SANTOS, Jorge Luiz Pizzuti dos. **Estudo do potencial tecnológico de materiais alternativos para absorção sonora**. Santa Maria: UFSM, 2005.

SCHAFER, R. Murray. **A afinação do mundo**. São Paulo: UNESP, 1977.

SIMÕES, Sara Cristina Domingos. **Ruído e vibrações no corpo humano avaliação de ruído e vibrações - LAUAK PORTUGUESA – Indústria Aeronáutica, LDA**. 2014. Dissertação (Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho) - Instituto Politécnico de Setúbal, 2014.

SOUZA, Gabriela Inhan de. **Rudolph Atcon, entre o educacional e o urbanístico na definição de diretrizes para campi universitários no Brasil**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2015.

SOUZA, Márcio de Oliveira Resende. **O programa MEC/BID III e o CEDATE na consolidação dos campi universitários no Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2013.

SUN, Kang; LIANG, Xingyu; BOTTELDOOREN, Dick; COENSEL, Bert De. Evaluating the university campus soundscape: the case of Tianjin University. *In: PROCEEDINGS OF THE 10TH EUROPEAN CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING*, 2015, Maastricht. **Anais [...]**. Maastricht: 2015.

SZEREMETA, Bani; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. A percepção dos praticantes de atividade física sobre a qualidade ambiental sonora dos parques públicos de Curitiba-Paraná. **Ra'e Ga**, [s.l.], v.33, p.07-43, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/30969>. Acesso em: agosto 2019.

SZEREMETA, Bani; ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. Analysis and evaluation of soundscapes in public parks through interviews and measurement of noise. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 24, p. 6143–6149, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969709007992?via%3Dihub>. Acesso em: março 2019.

THATTAI, D.; SUDARSAN, J. S.; SATHYANATHAN, R.; RAMASAMY, V. Analysis of noise pollution level in a university campus in South India. IOP Conference Series: **Earth and Environmental Science**, v. 80, n. 1, 2017. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/80/1/012053>. Acesso em: dezembro 2018.

UNIÃO EUROPEIA. **Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente**. Jornal Oficial, n. 45, l. 189, p.12-26, 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. **Apresentação**. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/ufjf/sobre/apresentacao/>. Acesso em: abril 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. **Comissão de planejamento e construção da cidade universitária**. Juiz de Fora. Ata das sessões realizadas entre os dias 14 jan. 1964 a 30 out. 1970.

VALADARES, Victor Mourché. **Ruído de tráfego veicular em corredores do transporte urbano: estudo de caso em Belo Horizonte-MG**. 1997. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Críteres d'hygiene de l'environnement Le bruit**. Genebra, 1980. Disponível em: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39513/9242540722_;jsessionid=EA1B14FD9B09ABDDAA08ADE44F8E630D?sequence=1. Acesso em: setembro 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Burden of disease from environmental noise quantification of healthy life years lost in Europe**. 2011. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/326424>. Acesso em: setembro 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Environmental noise guidelines for the European Region**. 2018. Disponível em: <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>. Acesso em: fevereiro 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for community noise**. 1999. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66217>. Acesso em: setembro 2018.

YANG, W.; KANG, J. Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces. **Applied Acoustics**, v. 66, n. 2, p. 211–229, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X04001215>. Acesso em: abril 2019.

ZAJARKIEWICZ, Daniel Fernando Bondarenco. **Poluição sonora urbana: principais fontes. Aspectos jurídicos e técnicos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Direito) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2010.

ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta; ENGEL, Margret Sibylle; FIEDLER, Paulo Eduardo Kirrian; BUNN, Fernando. Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: a case study at a university campus in Brazil. **Cities**, v. 31, p. 317–327, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275112001771?via%3Dihub>. Acesso em: setembro 2018.

ZHANG, Xu; BA, Meihui; KANG, Jian; MENG, Qi. Effect of soundscape dimensions on acoustic comfort in urban open public spaces. **Applied Acoustics**, v. 133, p. 73–81, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X17310447?via%3Dihub>. Acesso em: março 2019.

APÊNDICE C – Questionário aplicado com as modificações feitas após o teste piloto

PROAC

UNIVERSIDADE
FEDERAL DE JUIZ DE FORA 

QUESTIONÁRIO

Estamos realizando uma pesquisa sobre a qualidade acústica dos ambientes de ensino e de pesquisa do campus da Universidade Federal de Juiz de Fora. Essa pesquisa está sendo desenvolvida no Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído – PROAC. Os resultados obtidos serão utilizados apenas para fins acadêmicos.

O questionário é anônimo, solicitamos que não se identifique. Não existem respostas certas ou erradas. Por isso lhe solicitamos que responda de forma espontânea e sincera a todas as questões.

Assinale com uma cruz sua opção de resposta.

Obrigado pela sua colaboração.

Idade: _____

Estudante / Professor / Técnico: _____

Local de aplicação do questionário: _____

1. EM SEU DIA-A-DIA, VOCÊ SE EXPÕE A ALGUM TIPO DE SOM ALTO?
 Às vezes Nunca Sempre. Onde (trabalho, estágio, em casa)?
2. COM QUE FREQUÊNCIA VOCÊ USA ESSE AMBIENTE?
 5 vezes por semana 3 vezes por semana 1 vez por semana
 4 vezes por semana 2 vezes por semana Esporadicamente
3. ONDE VOCÊ COSTUMA SE SENTAR NESSE AMBIENTE?
 Ao lado da janela/porta Longe da janela/porta No meio da sala
4. PORQUE VOCÊ COSTUMA SE SENTAR NESSE LUGAR?
 É uma distância mais curta da entrada/saída Para entender melhor o professor
 É o único lugar para eu me sentar Outro. Descreva:
5. QUE TIPO DE SOM VOCÊ ESTÁ OUVINDO DO LADO DE FORA, NESSE MOMENTO?
 Natureza (pássaros, vento, chuva...) Tráfego de veículos Nenhum
 Conversa entre grupos de pessoas Outro (obra, música...). Descreva:
6. VOCÊ SEMPRE OUVESSE ESSE SOM NESSE AMBIENTE?
 Sim Não Às vezes
7. ESSE SOM, NESSE AMBIENTE, TE IMPEDE DE OUVIR BEM O COLEGA/PROFESSOR?
 Nunca/Quase nunca Muitas vezes Algumas vezes
 O tempo todo
8. QUAL SEU NÍVEL DE INCÔMODO QUANTO A ESSE SOM?
 Não incomoda Dor de cabeça ou similar Outro. Descreva:
 Irritação Dificuldade de concentração
9. O QUE VOCÊ FAZ PARA TENTAR DIMINUIR ESSE SOM?
 Não faço nada Me mudo de lugar dentro deste ambiente
 Fecho a janela/porta Deixo de frequentar o local Outro. Descreva:
10. EM TERMOS DE RUÍDO, VOCÊ GOSTARIA QUE ESSE AMBIENTE:
 Ficasse sem mudanças Fosse mais silencioso Fosse muito mais silencioso

APÊNDICE D – Planilha para o compilamento dos dados referentes a aplicação de questionário

Pontos	Plataforma	1. Em seu dia-a-dia, você se expõe a algum tipo de som alto?					2. Com que frequência você usa esse ambiente?						
		Alternativa	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Alternativa	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D		
		As vezes					5x						
		Nunca					4x						
		Sempre					3x						
		-	-	-	-	-	2x						
		-	-	-	-	-	1x						
		-	-	-	-	-	Esporádico						
		As vezes					5x						
		Nunca					4x						
		Sempre					3x						
		-	-	-	-	-	2x						
		-	-	-	-	-	1x						
		-	-	-	-	-	Esporádico						

ANEXO A – Parecer com a autorização do Comitê de Ética quanto ao questionário



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DA EMENDA

Título da Pesquisa: Caracterização da poluição sonora na Universidade Federal de Juiz de Fora

Pesquisador: THAISA BARBOZA DE SOUZA

Área Temática:

Versão: 4

CAAE: 98457018.4.0000.5147

Instituição Proponente: Programa de Pós Graduação em Ambiente Construído (PROAC)

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 3.465.426

Apresentação do Projeto:

Apresentação do projeto está clara, detalhada de forma objetiva, descreve as bases científicas que justificam o estudo, estando de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS 466/12 de 2012, item III.

Objetivo da Pesquisa:

Os Objetivos da pesquisa estão claros bem delineados, apresenta clareza e compatibilidade com a proposta, tendo adequação da metodologia aos objetivos pretendido, de acordo com as atribuições definidas na Norma Operacional CNS 001 de 2013, item 3.4.1 - 4.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos e benefícios descritos em conformidade com a natureza e propósitos da pesquisa. O risco que o projeto apresenta é caracterizado como risco mínimo e benefícios esperados estão adequadamente descritos. A avaliação dos Riscos e Benefícios está de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS 466/12 de 2012, itens III; III.2 e V.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O projeto está bem estruturado, delineado e fundamentado, sustenta os objetivos do estudo em sua metodologia de forma clara e objetiva, e se apresenta em consonância com os princípios éticos norteadores da ética na pesquisa científica envolvendo seres humanos elencados na resolução 466/12 do CNS e com a Norma Operacional Nº 001/2013 CNS.

Endereço: JOSE LOURENCO KELMER S/N
 Bairro: SAO PEDRO CEP: 36.036-900
 UF: MG Município: JUIZ DE FORA
 Telefone: (32)2102-3788 Fax: (32)1102-3788 E-mail: cep.propesq@uff.edu.br