

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo  
Especialização em Sustentabilidade em cidades, edificações e produtos

Thaísa Barboza de Souza

**Eficácia acústica de estratégias projetuais ao ar livre em um *campus*  
universitário**

Belo Horizonte  
2021

Tháísa Barboza de Souza

Eficácia acústica de estratégias projetuais ao ar livre em um *campus* universitário

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades Edificações e Produtos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Sustentabilidade em cidades, edificações e produtos.

Área de concentração: Conforto Ambiental

Orientador: Dr. Victor Mourthé Valadares

Belo Horizonte  
2021

#### FICHA CATALOGRÁFICA

S719e Souza, Thaísa Barboza de.  
Eficácia acústica de estratégias projetuais ao ar livre em um campus universitário [manuscrito] / Thaísa Barboza de Souza. - 2021.  
56 f. : il.

Orientador: Victor Mourthé Valadares.

Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Acústica arquitetônica. 2. Ruído. 3. Conforto humano. 4. Universidade Federal de Juiz de Fora. I. Valadares, Victor Mourthé. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47

Bibliotecária responsável: Vanessa Marta de Jesus - CRB/6-2419



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG  
Rua Paraíba, 697 – Funcionários  
30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil

Telefone: (031) 3409-8823

FAX (031) 3409-8822

**ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA THÁISA BARBOSA DE SOUZA COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE EM CIDADES, EDIFICAÇÕES E PRODUTOS.**

Às 10:00 horas do dia 12 de fevereiro de 2021, reuniu-se em teleconferência privada, devido ao COVID-19, a Comissão Examinadora composta pelo Prof. Victor Mourthé Valadares-Orientador-Presidente, pelo Prof. Ernani S. Machado - Membro Titular Externo, designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos, para avaliação da monografia intitulada "**Eficácia acústica de estratégia projetuais ao ar livre em um campus universitário**" de autoria da aluna **Tháisa Barbosa de Souza**, como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso, atribuindo ao trabalho a nota "95" e conceito "A". A Comissão recomenda que sejam encaminhados: 01 (hum) exemplar impresso para a Biblioteca da Escola de Arquitetura e 01(hum) exemplar digital ao Repositório da UFMG, após as correções sugeridas.

Belo Horizonte, 12 de fevereiro de 2021

**Prof. Victor Mourthé Valadares**  
Orientador-Presidente

**Prof. Ernani S. Machado**  
Membro Titular Externo

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, pelo apoio e suporte em mais essa fase da vida, me acompanhando do início ao fim dessa jornada.

Aos meus parceiros de profissão que eu tive a oportunidade de conhecer graças à Especialização e que, com certeza, levarei por toda a vida.

Ao meu orientador da Especialização, Victor Mourthé Valadares, que contribuiu com conhecimentos valiosos sobre o estudo em questão, no decorrer desses meses.

Aos meus orientadores do Mestrado em Ambiente Construído, Klaus Chaves Alberto e Sabrina Andrade Barbosa, por todo o suporte e parceria durante esse tempo em que fazia ambas as Pós-graduações, concomitantemente.

Ao Ernani Simplício Machado, por ter aceitado o convite em fazer parte da banca examinadora, trazendo também contribuições muito pertinentes sobre o assunto.

E ao grupo de pesquisa ECOS, da Universidade Federal de Juiz de Fora, por ceder os equipamentos necessários para a realização da parte prática do trabalho.

## RESUMO

O ensino superior brasileiro sofreu uma primeira expansão em meados do século passado e uma segunda no início do século atual, quando muitas das novas universidades foram implantadas em perímetros urbanos, propensas a uma atmosfera acústica potencialmente mais crítica. A proximidade das universidades com o sistema viário da cidade e o modo de articulação entre esses sistemas tendem a incrementar o fluxo de tráfego veicular nas imediações das edificações de um *campus* citadino, gerando um ruído que pode precarizar o conforto, a saúde e o desempenho das comunidades acadêmicas. Dessa forma, essa pesquisa tem como objetivo identificar o nível de eficácia da implementação de duas estratégias projetuais de assentamentos dos edifícios no *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) a fim de promover a mitigação do ruído no local e assegurar os índices de qualidade ambiental acústica vigentes durante o desenvolvimento deste trabalho. Para isso, essa investigação baseou-se em medições sonoras *in loco* em pontos estratégicos cujos dados foram tratados em planilha eletrônica e representados em tabelas e gráficos. Foi constatado que as estratégias projetuais têm eficiência na redução do nível de pressão sonora no *campus* investigado ainda que não assegurem necessariamente índices de qualidade ambiental acústica preconizados.

Palavras-chave: Ruído. Estratégias projetuais. NBR 10.151. *Campus* universitário.

## **ABSTRACT**

The Brazilian higher education went through a first expansion in the middle of the last century and a second one in the beginning of the present century, when many of the new universities were settled in urban perimeters, prone to a potentially more critical acoustic zone. The proximity of the universities to the city's road system and the way in which these systems are articulated, they tend to increase the flow of vehicular traffic in the proximity of the buildings of a campus, generating a noise that can precarize the comfort, health and performance of academic communities. Thus, this research aims to identify the level of effectiveness of the implementation of two design strategies for building settlements on the campus of the Federal University of Juiz de Fora (UFJF) in order to promote noise mitigation at the site and ensure the noise levels acoustic environmental quality prevailing during the development of this work. For this, this investigation was based on sound measurements in loco at strategic points whose data were treated in a eletronic spreadsheet and represented in tables and graphs. It has been found that the design strategies are effective in reducing sound pressure on campus investigated, although they do not necessarily ensure acoustic environmental quality.

Keywords: Noise. Design strategies. NBR 10.151. University campus.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do campus da UFJF na cidade de Juiz de Fora – MG	22
Figura 2. Exemplo de estratégias projetuais na implantação no campus da UFJF	23
Figura 3. Localização dos cortes e pontos no campus da UFJF de acordo com os segmentos	26
Figura 4. Segmento 1 (Corte AA)	32
Figura 5. Segmento 2 (Corte BB)	34
Figura 6. Segmento 3 (Corte CC)	35
Figura 7. Segmento 4 (Corte DD)	36
Figura 8. Reapresentação do perfil do Segmento 1, situando fonte-receptor	37
Figura 9. Reapresentação do perfil do Segmento 2, situando fonte-receptor	38
Figura 10. Reapresentação do perfil do Segmento 3, situando fonte-receptor	40
Figura 11. Reapresentação do perfil do Segmento 4, situando fonte-receptor	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período	17
Tabela 2. Divisão dos pontos de medição	28
Tabela 3. Contagem do fluxo de veículos	29

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Quadro resumo para a coleta de dados

24

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Descritores acústicos do Segmento 1	33
Gráfico 2. Descritores acústicos do Segmento 2	34
Gráfico 3. Descritores acústicos do Segmento 3	35
Gráfico 4. Descritores acústicos do Segmento 4	36
Gráfico 5. Decaimento de níveis de pressão sonora (NPS) no Segmento 1	37
Gráfico 6. Decaimento de níveis de pressão sonora (NPS) dos pontos P1, P2 e P3, do Segmento 2	38
Gráfico 7. Decaimento de níveis de pressão sonora (NPS) dos pontos P4, P5 e P6, do Segmento 2	39
Gráfico 8. Decaimento de nível de pressão sonora (NPS) no Segmento 3	40
Gráfico 9. Decaimento de níveis de pressão sonora (NPS) dos pontos P1, P2 e P3, do Segmento 4	41
Gráfico 10. Decaimento de níveis de pressão sonora (NPS) dos pontos P4, P5 e P6, do Segmento 4	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Art.	Artigo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
dB	Decibel
DE	Decaimento Empírico
DT	Decaimento Teórico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LAeq	Nível de Pressão Sonora Equivalente Contínuo ponderado em A
LAF <sub>mín</sub>	Menor nível de pressão sonora ponderado em A
LAF <sub>max</sub>	Maior nível de pressão sonora ponderado em A
LAF <sub>10</sub>	Nível de pressão sonora excedido em 10% do tempo medido
LAF <sub>90</sub>	Nível de pressão sonora excedido em 90% do tempo medido
MG	Minas Gerais
NBR	Normas Brasileiras
NPS	Nível de Pressão Sonora
NR	Norma Regulamentadora
OMS	Organização Mundial da Saúde
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
	Justificativa .....	13
	Objetivo Geral .....	14
	Objetivos Específicos.....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
2.1	Instrumentos legais para atmosferas acústicas sustentáveis.....	15
2.2	Norma brasileira NBR 10.151 vigente .....	16
2.3	Estudos análogos .....	18
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
3.1	Objeto de estudo: <i>campus</i> da Universidade Federal de Juiz de Fora.....	21
3.2	Mapeamento Sonoro .....	24
3.2.1	Coleta de dados.....	24
3.2.2	Medições <i>in loco</i> .....	25
3.3	Cálculo de decaimento de níveis de pressão sonora teórico e empírico ..	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>32</b>
4.1	Análise geral dos segmentos .....	32
4.2	Decaimento de níveis de pressão acústica teórico e empírico .....	36
4.3	Considerações finais.....	43
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
	REFERÊNCIAS .....	46
	APÊNDICE .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

O ensino superior brasileiro sofreu uma primeira expansão em meados do século passado e uma segunda no início do século atual, quando muitas das novas universidades foram implantadas em perímetros urbanos, propensas a uma atmosfera acústica potencialmente mais crítica (BASTOS, 2019). A proximidade das universidades com o sistema viário da cidade e o modo de articulação entre tais sistemas tendem a incrementar o fluxo de tráfego veicular nas imediações das edificações de um *campus* citadino, gerando um ruído que pode precarizar o conforto, a saúde e o desempenho das comunidades acadêmicas (OMS, 2018).

O ruído é apenas um dentre diversos estressores ambientais. Apesar da componente subjetiva de sua percepção, o incômodo acústico está associado à magnitude da exposição das pessoas a esses eventos, ao controle percebido que as pessoas têm sobre este e à previsibilidade desses eventos no ambiente (BELL *et al.*, 2001). Sabe-se que a partir da Revolução Industrial, nos séculos XVIII e XIX, houve uma difusão e agravo desta poluição devido, principalmente, à proliferação de artefatos maquinais (MURGEL, 2007). Fatores associados, como aumento do tráfego rodoviário, ferroviário e aeronáutico, atrelados à urbanização e ao crescimento econômico, também contribuíram para a expansão do ruído nas cidades (OMS, 1999). Fato que tem, inclusive, motivado a elaboração de normas específicas para sua medição e avaliação, como a NBR 16425-1 (Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes Parte 1: Aspectos gerais) (ABNT, 2016) e partes subsequentes já publicadas ou em vias de publicação.

Um estudo da OMS, em 2010, mostrou que o ruído de tráfego veicular rodoviário ficou em segundo lugar entre os mais estressantes em seis países europeus (OMS, 2011). Esse tipo de ruído é preocupante, pois atinge simultaneamente um significativo número de pessoas, reportado como mais incômodo do que o barulho provocado por vizinhos e por ruído de tráfego veicular aeronáutico (OMS, 2018). “Niemeyer (2007) afirma que os veículos leves, embora, individualmente, menos ruidosos que os veículos de grande porte, são, em conjunto, a maior fonte de ruído urbano” (FLORENCIO *et al.*, 2017), sendo que a maior emissão de ruído veicular acontece, possivelmente, devido ao atrito do pneu com a estrada (HANSON *et al.*, 2004).

O desconforto acústico é determinado pelo grau de exposição física e variáveis psicológicas dos indivíduos (OMS, 1980). A exposição a altos níveis de pressão sonora pode gerar problemas de saúde psicológicos, cardíacos, auditivos ou cognitivos, afetando desde fetos a idosos. Em jovens, a habilidade de leitura e compreensão pode ser retardada em até um mês, quando expostos a sons indesejáveis (OMS, 2018). Isso se agrava em ambiente educacional, pois os alunos se tornam mais propensos à exaustão, afetando suas habilidades cognitivas e resultando em perda de atenção e distração no conteúdo passado em sala (ÇANKAYA; YILMAZER, 2016), repercutindo na queda de qualidade no processo educacional que tende a se tornar mais estressante.

Uma vez que há uma certa dificuldade de percepção imediata dos efeitos do ruído por parte da população, a poluição sonora apresenta-se, paradoxalmente, como um agente poluidor silencioso de grande perigo (FLORENCIO *et al.*, 2017) e exige do ser humano quase 20% a mais de energia para efetuar uma certa tarefa sob circunstância ruidosa em excesso (SILVA, 2005). Essa excessividade compromete a qualidade de vida do indivíduo exposto, “podendo ocorrer reações no organismo, tais como: alterações na pressão sanguínea e na frequência cardíaca; tensão muscular; liberação de hormônios; falta de atenção; distúrbios do sono; falta de concentração, irritabilidade, entre outros” (MAGIOLI; TORRES, 2018). Já quanto a perda de audição, os homens estão mais propensos do que as mulheres e os brancos mais que os negros (BRITO, 2016).

A audição pode ser afetada pelos ruídos através da mudança temporária no limiar (fadiga auditiva), através de trauma acústico (perda auditiva súbita) ou pela perda auditiva induzida por ruído — PAIR (FIOCRUZ, 2015; RIBAS *et al.*, 2010 apud MAGIOLI; TORRES, 2018). A reação das pessoas ao ruído não depende apenas das características físicas do som, mas também das características auditivas individuais, dentre as quais devem ser considerados aspectos físicos e subjetivos, tais como pré-conceitos sobre a percepção do ruído e a influência da própria personalidade na sensibilidade ao ruído (ZIMMER; ELLERMEIER, 1999; MOREIRA; BRYAN, 1972 apud MAGIOLI; TORRES, 2018).

Sobre isso, a NR 15 (PORTARIA SEPRT N.º 1.359, 2019) dispõe dos limites de tolerância de ruídos contínuos ou intermitentes, mostrando qual o tempo máximo permitido de exposição diária em situações laborais acusticamente agressivas. Mesmo em situações laborais acusticamente não agressivas, há, no caso brasileiro,

a NR 17 – Ergonomia (PORTARIA MTPS n.º 3.751, 1990), que recomenda atenção à NBR 10.152 (ABNT, 2017) que preconiza níveis de pressão sonora para ambientes internos, especificando também seus próprios limites complementares, quando for o caso. A preocupação com as exposições acústicas atendendo a limites aceitáveis também se estendem ao ambiente externo, objeto da NBR 10.151 que também abrange o ambiente interno, e que vem se consolidando com sua recente versão (ABNT, 2019) para áreas habitadas em geral.

Ambas as normas ABNT integram a Política Nacional de Meio Ambiente no tocante à poluição sonora através de resoluções específicas do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), sendo a Resolução nº 01, de 08 de março de 1990, que estabelece normas a serem obedecidas no interesse da saúde em decorrência de quaisquer atividades, e a Resolução nº 02, de 08 de março de 1990, que institui em caráter nacional o Programa Silêncio, visando controlar o ruído excessivo que possa interferir na saúde e bem estar da população.

Morillas, González e Gozalo (2016) apontam diversos estudos que afirmam que cerca de 40% da população da União Europeia está exposta ao ruído do tráfego rodoviário com um nível de pressão sonora equivalente superior a 55 dB durante o dia e mais de 30% são expostos a esses mesmos decibels durante a noite, atrapalhando o sono. Para 65 dB gerados pelos tráfegos de aeronaves, rodoviário e ferroviário, aproximadamente 23%, 18% e 10% dos receptores se encontram altamente irritados, respectivamente. Para o controle dessa poluição, são feitas restrições quanto ao zoneamento urbano das cidades. Em torno de hospitais e escolas, por exemplo, criam-se zonas sensíveis ao ruído devido às necessidades de áreas mais silenciosas. Por isso, é muito importante que haja um planejamento urbano para compatibilizar os usos do solo possibilitando o equilíbrio entre comércio, serviço e indústria com áreas sensíveis de residências, saúde e institucional, este último abrangendo estabelecimentos educacionais. Campanhas de conscientização ambiental e de informação ao consumidor também podem ajudar no combate à poluição sonora através de soluções educativas para a população (NAGEM, 2004).

A exposição ao ruído é um tema atual, mas boa parte da população mundial ainda não está suficientemente informada e sensibilizada. Ela é capaz de prejudicar a qualidade de vida e o desempenho das pessoas e, apesar da existência de diversos trabalhos sobre o assunto em diferentes contextos, como em parques e bairros (BRASILEIRO; ARAÚJO, 2017; CALLEJA *et al.*, 2017; PATERLINI; GARZÓN, 2017;

SWAIN; GOSWAMI, 2018; ZHANG *et al.*, 2018), é importante tanto ampliar a gama de estudos como aumentar o número destes por contexto, inclusive nas pesquisas voltadas aos ambientes educacionais.

Nesse sentido, este estudo tem como objeto de análise o *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Com área de pouco mais de 100 hectares, o *campus* sede da UFJF é frequentado por uma população de mais de 20.000 usuários ligados a atividades laborais e educacionais (dentre alunos, professores e técnicos), além de cidadãos praticantes de atividade física, que não estão inclusos na população citada. Assim, com o desenvolvimento da cidade e do bairro em seu entorno, a área vem recebendo um aumento da circulação de veículos e pedestres desde a sua ocupação nos anos 1960.

### **Justificativa**

A forma de implantação dos *campi* universitários pode prejudicar acusticamente as atividades da comunidade acadêmica. Esse prejuízo deve ser encarado para além do impacto negativo no âmbito pessoal de cada indivíduo, uma vez que assume proporções institucionais e, conseqüentemente nacionais, à medida em que a implantação de *campi* em áreas urbanas tornou-se uma tendência contemporânea. Zelar pela ambiência acústica adequada nos *campi* universitários é uma dentre muitas ações para contribuir para a saúde, o bem-estar e o conforto, além de serem essenciais ao desempenho satisfatório de suas comunidades acadêmicas. Com isso, promove, assim, ambiências acusticamente sustentáveis às atividades neles presentes (administrativas, educacionais e de pesquisas), envolvendo um cenário de vivências, experiências e relações associadas ao conhecimento em contexto ambientalmente promissor, inclusive do ponto de vista acústico.

Além disso, a investigação da qualidade sonora ambiental é indispensável em uma instituição acadêmica, já que diversas pessoas permanecem ali por longos períodos diários ao longo de anos, independentemente de o objetivo ser administrativo, educacional ou de pesquisa (BRITO, 2016). Sendo assim, é essencial a realização de investigações que buscam verificar se ambientes que deveriam estar em zonas de conforto sonoro por necessitarem de calma e relaxamento, realmente estão.

Concluindo, a pesquisa se torna relevante na medida em que, assim como outros casos no Brasil, a proximidade do *campus* com a massa urbana resulta em espaços

propensos à exposição sonora excessiva, o que pode contribuir para prejudicar a saúde física e mental dos acadêmicos, resultando em baixo desempenho de alunos, professores e funcionários.

### **Objetivo Geral**

A pesquisa tem como objetivo identificar o nível de eficácia<sup>1</sup> da implementação de duas estratégias projetuais de assentamentos dos edifícios no *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

### **Objetivos Específicos**

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- Determinar as áreas passíveis de serem investigadas com definição de números e locais de pontos de medição *in loco* de níveis de pressão sonora no *campus* universitário;
- Fazer medições de níveis de pressão sonora nos pontos e locais escolhidos;
- Determinar os decaimentos dos níveis de pressão sonora teórico e empírico;
- Gerar gráficos de descritores e de decaimentos acústicos das áreas estudadas;
- Verificar a relação dos decaimentos com as estratégias projetuais consideradas;
- Avaliar se os ambientes exteriores nas imediações dos edifícios da UFJF nas áreas estudadas do *campus* estão adequados com o procedimento simplificado da NBR 10.151 (ABNT, 2019).

---

<sup>1</sup> Com o intuito de facilitar a compreensão do objetivo geral, cabe aqui o esclarecimento quanto a diferença das definições de EFICÁCIA e EFICIÊNCIA. Assim, de acordo com o Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa, eficácia é a “capacidade de resolver problemas ou realizar atos específicos” (EFICÁCIA, 2021). Por outro lado, eficiência é a “capacidade de realizar bem um trabalho ou desempenhar adequadamente uma função” (EFICIÊNCIA, 2021).

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Instrumentos legais para atmosferas acústicas sustentáveis**

De acordo com o §3º do Art. 225 da Constituição Federal vigente, os atos lesivos ao meio ambiente são passíveis de sanções penais (BRASIL, 1988) e, dentre eles, a poluição sonora é definida como a emissão sonora excessiva com potencial de danos à saúde humana, o que é considerada reiteradamente crime, conforme Art. 54 da Lei nº 9.605/1998 (BRASIL, 1998).

Segundo as resoluções nº 01/1990 e nº 252/1999 do CONAMA, os ruídos em áreas habitadas devem respeitar os limites definidos pela NBR 10.151 (ABNT, 2019) que, uma vez violados, prejudicam o sossego e a saúde física e mental da população (CONAMA, 1990a, 1999).

Em âmbito estadual, a Lei nº 7.302 (MINAS GERAIS, 1978), complementada pela Lei nº 10.100 (MINAS GERAIS, 1990), 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 UFJF está inserida, vigora a Lei nº 5.535 - de 15 de dezembro de 1978 (Código de Postura) que recomenda em seus artigos sobre higiene pública e bem-estar público a observância da legislação federal em relação ao sossego público (PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA, 1978). Além disso, o Plano Diretor Municipal (Lei complementar nº 082), no Art. 25, afirma que buscará o combate à poluição sonora e visual como parte de sua Política Ambiental (PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA, 2018). Assim, em termos de busca pelo bem-estar público e na lida com poluição entende-se que, no caso de Juiz de Fora, a observância da legislação federal e o respeito aos padrões ambientais sobre a poluição sonora são confluentes na Resolução nº 01/1990 do Conama, o que remete à NBR 10.151/2019.

Em termos de política urbana sobre o tema, o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001), no artigo referente ao Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV), admite abordagem da questão do ruído, embora não explicitamente, sendo que ele não substitui o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) (BRASIL, 2001) previsto na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981), que entende poluição como “a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente [...] prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população” e ainda “lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos”, por exemplo (BRASIL, 1981). Dessa forma, vê-se que tanto especificamente pelo EIV como mais genericamente pelo EIA, a poluição sonora pode ser objeto de investigação ambiental.

Entre o âmbito estadual e âmbito federal, há indício da legislação estadual vigente sobre poluição sonora ser mais permissiva que a NBR 10.151, pelo fato de (i) estabelecer limites baseados apenas no horário do dia, sem considerar a localização na cidade; (ii) apresentar, como limite diurno e noturno, magnitudes da ordem de grandeza que condizem com os limites admitidos pela NBR 10.151 para áreas predominantemente industriais. A complementação da avaliação no âmbito estadual com base no critério de admitir a excedência no ruído ambiente sem tráfego em até 10 dB pode vir a gerar um limite aplicável mais restritivo que o âmbito federal, embora isso seja mais provável de ocorrer no período noturno, quando o ruído ambiente tende a ser de menor magnitude. Como a investigação aqui desenvolvida foi baseada em medições acústicas no período diurno, foi selecionado o instrumento legal mais restritivo, ou seja, a NBR 10.151, ficando prejudicada uma avaliação pelo âmbito estadual por ferir o princípio de competência concorrente.

## **2.2 Norma brasileira NBR 10.151 vigente**

Para essa pesquisa, conforme previamente justificado, será utilizada a norma NBR 10.151/2019 - Acústica - medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - aplicação de uso geral, ambiente externo e procedimento simplificado, como referência para as medições acústicas e complementação da investigação aqui proposta de ser realizada. Tal norma orienta sobre as técnicas a serem adotadas na execução de medições de nível de pressão sonora em ambientes internos e externos às edificações de áreas habitadas, bem como o modo de

avaliação da situação de exposição acústica segundo premissas para a boa qualidade de vida da população no que diz respeito à atmosfera acústica.

Assim, a 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 em termos de critério  $RLA_{eq}^2$ . Para a monografia, considerou-se a “Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas” com limite de nível de pressão sonora diurno de 50 dB, avaliados pelo método simplificado que é utilizado para medições de nível de pressão sonora global, em ambientes externos, conforme consta na Tabela 1.

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

TIPOS DE ÁREAS HABITADAS	RLA <sub>eq</sub> 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)

A avaliação simplificada consiste em caracterizar a atmosfera acústica por ponto de medição no receptor considerado, que, neste estudo, consistiu em pontos nas imediações dos edifícios da UFJF presentes nas áreas estudadas. Tal caracterização, exclusivamente do ponto de vista quantitativo, foi feito pelo descritor  $LA_{eq}$  em termos de sons totais, ou seja, considerando todas as fontes sonoras

<sup>2</sup>  $RLA_{eq}$ : valor de referência do limite de nível de pressão sonora contínuo equivalente com frequência ponderada em A e integrada em um intervalo de tempo T;

$LA_{eq}$ : valor medido do nível de pressão sonora contínuo equivalente com frequência ponderada em A e integrada em um intervalo de tempo T.

Considera-se este descritor um dos mais importantes dentro do tema de acústica. Ele representa o nível de diferentes tipos de ruído contínuo de um local ao qual os usuários estão sujeitos, sendo equivalente ao ruído original que é variável (GIANNINI *et al.*, 2011).

influentes na acusticosfera das imediações do receptor, ou ainda, por outras palavras, que leva em conta todas as fontes acústicas cujos espaços sonoros abrangem o receptor para o qual a avaliação é desenvolvida<sup>3</sup>. Nessa avaliação simplificada as fontes sonoras sob investigação não apresentam componentes impulsivos ou tonais. Em termos de ruído de tráfego veicular urbano sob vias pavimentadas, há possibilidade desse tipo de ruído envolver componentes impulsivos, em situações de sinistros por colisões, por exemplo, como também é possível a presença de componentes tonais quando do acionamento de buzinas. Como tais manifestações impulsivas e tonais potenciais do ruído de tráfego não foram consideradas recorrentes no *campus* da UFJF, neste trabalho, tais possibilidades foram consideradas de natureza esporádica.

Assim, uma vez obtido o LAeq externo em determinado ponto em termos totais, ele deve ser comparado ao RL Aeq preconizado e se este for superado por aquele, há indício de poluição acústica. Tal poluição será definitivamente constatada se persistir tal superação, levando-se em conta o LAeq referente ao som específico do ruído de tráfego veicular sem influência do ruído residual, ou seja, o ruído ambiente do local sem presença da fonte de interesse de investigação. Neste trabalho, os sons totais consistiram no próprio LAeq medido com a presença do tráfego veicular em foco e o ruído residual foi considerado pelo parâmetro de nível de pressão sonora excedido em 90% do tempo (LAF90), uma vez que consiste num parâmetro que se aproxima da caracterização do ruído ambiente de um local, um valor de magnitude de nível de pressão sonora entre o valor mínimo e médio na área considerada.

Embora a medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes sejam abordadas por norma específica - a NBR 16.425 (ABNT, 2016) -, até o momento do desenvolvimento desta pesquisa não havia sido publicada a parte específica que trata do tráfego rodoviário. Desse modo, a avaliação desenvolvida neste estudo baseou-se em uma aplicação adaptada da NBR 10.151 para o objeto de análise em questão.

### **2.3 Estudos análogos**

Al-Mosawe, Alobaydi e Albayati (2018), Çolakkadioğlu *et al.* (2018) e Ozer, Zengin e Yilmaz (2014) tiveram objetivos semelhantes ao analisar níveis de pressão acústica

---

<sup>3</sup> Este é um conceito “shaferiano” (SHAFER, 2001).

em universidades do Iraque, da Turquia e da Nigéria, respectivamente. Como métodos de trabalho, optaram por distribuir os pontos de medição sonora nas vias mais e/ou menos ruidosas dos *campi*, observando a localização das salas de aula e o tipo de pavimentação da via, de acordo com as especificidades de cada área. A partir de algumas das vias dessas pesquisas acima relacionadas houve, nos pontos receptores, magnitudes acústicas que extrapolaram as recomendações locais. O primeiro estudo especulou que a má disposição das novas edificações de sala de aula, com afastamento menor que o permitido em relação a via, é a causa dessa extrapolação. Já a segunda pesquisa constatou magnitudes acústicas em conformidade com o preconizado pela respectiva norma, o que pode ser devido à influência conjunta da topografia e da densa vegetação no entorno edilício. O último trabalho alcançou caráter propositivo uma vez que apresentou medidas mitigatórias como, por exemplo, restrições ao número de automóveis que têm acesso ao *campus* e desvio dos veículos que o acessam para um bolsão de estacionamento afastado das edificações.

Em outra pesquisa, Onchang e Hawker (2018) restringiram seu foco nos estudantes que moravam dentro e fora de um *campus* na Tailândia. Isso levou os autores a optarem por uma medição de 24h em pontos situados ao lado das moradias dos estudantes e pela realização de entrevistas com dois grupos diferentes: os residentes dentro do *campus* e aqueles que residem imediatamente fora deste. Foi constatado que os alunos que habitam fora do *campus* estão expostos a maiores níveis acústicos diurno e noturno em comparação aos que moram no *campus*. Ainda que em nenhum dos pontos medidos tenha ultrapassado o limite recomendado pela norma vigente do país, ambos grupos disseram estar incomodados com os ruídos, sendo a maior queixa sobre os eventos de propagandas (alto-falantes).

Thattai *et al.* (2017) e Li *et al.* (2019) avaliaram o impacto do ruído externo na aprendizagem dos alunos, atentos ao impacto das ferrovias dispostas próximas aos *campi*. No primeiro caso, que possui o *campus* localizado a 5 km de uma estação ferroviária na Índia, o ruído de tráfego ferroviário esteve entre os mais significativos, quando de sua ocorrência. Por outro lado, no segundo trabalho, realizado na China, embora a universidade se localize à 300 m da ferrovia, o impacto do tráfego veicular ferroviário foi menor que no caso indiano. Isso pode ser explicado pela forma de implantação do *campus* chinês, uma vez que suas edificações foram projetadas e dispostas estrategicamente, mostrando eficácia projetual à despeito da proximidade

da ferrovia. A pesquisa chinesa realizou também uma investigação subjetiva quanto ao incômodo dos estudantes aos níveis de ruído e identificou que 52% dos alunos consideram que sua atenção é perturbada, mas não seriamente; 36% afirmam que quando estão estudando na sala de aula ao mesmo momento em que um trem de alta velocidade passa, não conseguem se concentrar; e 12% acham que sua atenção não é afetada pela exposição a tal evento acústico.

No Brasil, Magioli e Torres (2018) e Krumenauer *et al.* (2015) avaliaram a influência do ruído gerado pelo tráfego veicular rodoviário das vias externas no entorno das universidades objeto dos estudos. Semelhantemente, Moraes *et al.* (2013) e Zannin *et al.* (2013), também tiveram como objetivo analisar descritores acústicos referentes às vias internas de seus *campi* universitários. Nessas pesquisas, a distribuição dos pontos de medição se deu de forma uniforme em função do fluxo das vias e do tipo de edificação ao redor. O tempo de medição não passou de 30 minutos por ponto, sendo o menor adotado de 3 minutos. Sobre isso, no estudo de De Souza, Barbosa e Alberto (2020) e no de Zannin *et al.* (2013), foram feitas análises estatísticas que funcionaram como um pré-teste para verificar o tempo mínimo suficiente para tornar os dados confiáveis através de medições em intervalos de 3 min, 15 min e 60 min em pontos aleatoriamente selecionados em suas áreas de estudo. A partir dos resultados, não foram observadas diferenças significativas entre os tempos nos pontos monitorados. Logo, nos estudos brasileiros, todos os pontos de medição ultrapassaram os limites utilizados pelos autores, exceto na última das pesquisas relatadas, em que pelo menos 11% dos pontos estiveram em acordo com o estabelecido por norma.

Percebe-se que o método de medição é semelhante nas pesquisas nacionais e nas internacionais e o critério de escolha dos pontos privilegia a medição dos locais mais afetados pelo som. Além das análises das medições realizadas *in loco*, a aplicação de questionários aos usuários dessas áreas afetadas é outro método relevante, pois permite compreender a relação dos usuários com o ruído produzido no local e a reação deles a respeito da exposição. Por fim, há ainda uma falta de pesquisas que promovam uma análise comparativa entre descritores acústicos de áreas internas de *campi* universitários com aqueles correlatos preconizados na norma NBR 10.151 (ABNT, 2019), edição mais atual.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da investigação abordado nesta monografia foi baseado em pesquisas documentais e de campo, recorrendo a análises físico-topológicas da área de estudo, assim como a análises quantitativas dos níveis de pressão sonora coletados nos conjuntos de pontos de medição das áreas selecionadas, que foram tratados através de procedimentos da estatística descritiva, formatado em planilha eletrônica.

Posterior às medições e análises, foi possível aferir sobre a eficácia das estratégias projetuais de assentamento edilício no *campus* da UFJF nas áreas selecionadas em relação à exposição acústica ao ruído de tráfego veicular urbano, na circunstância de *campus* interno em área urbana.

#### 3.1 Objeto de estudo: *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora

Inserido na cidade de Juiz de Fora (Zona da Mata Mineira, com população de pouco mais de meio milhão de habitantes (IBGE, 2019), o *campus* sede da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), com área de 100 hectares, está localizado na região oeste da cidade, a 6 km do centro urbano (Figura 1). Nele há construções de portes variados, com gabaritos médios a altos de uso diversificado, estes sendo, principalmente, residências uni e multifamiliares, comércios, hotéis, um shopping e um hospital. Ao longo dos anos, a UFJF tem induzido o desenvolvimento dos bairros ao seu redor no contexto da expansão territorial urbana desde o primeiro decênio da segunda metade do século passado. Como consequência, o ambiente acústico do *campus* tem se tornado mais ruidoso por ser um ponto de ligação entre as regiões Norte-Sul da cidade, com passagem aberta, uma vez que seu sistema viário está integrado ao município. A UFJF é uma instituição oriunda do processo de expansão das universidades brasileiras nos anos 1960 e seu *campus* tem muitas semelhanças formais, funcionais e espaciais com outros *campi* nacionais e internacionais criados no mesmo período (BASTOS, 2019). Essa semelhança pode ampliar a abrangência e os resultados deste estudo, podendo estimular e auxiliar em análises e intervenções de outros *campi*.

Figura 1. Localização do *campus* da UFJF na cidade de Juiz de Fora – MG



Sem escala. Fonte: Do autor, 2020

Morfologicamente, o *campus* da UFJF configura-se como uma universidade-parque em que os edifícios são implantados de forma espaçada, cercados por áreas verdes (ALBERTO, 2019). No entanto, esse *campus* se difere de seus contemporâneos ao explorar a topografia acentuada do local, sendo assim, projetado em dez plataformas com níveis diferentes. Nessas plataformas, inicialmente foram implantados edifícios pavilhonares de gabaritos baixos (até 2 pavimentos) padronizados e distribuídos de forma alternada, o que permitiu a criação de áreas verdes nas laterais e nas frentes das edificações, além de ventilação e iluminação natural nos ambientes (SOUZA, 2013). As edificações estão assentadas próximas às vias de automóveis com pavimentação asfáltica e envolta por massa vegetativa de densidade variada em toda a sua extensão.

No *campus*, há algumas estratégias projetuais que repercutem na mitigação da poluição sonora nas imediações das edificações, contribuindo na absorção e paisagem acústica. Tais quais: (i) afastamento das edificações em relação à via de

automóveis; (ii) uso de taludes advindo da topografia já existente, desnivelando as construções em relação ao sistema viário central; (iii) uso de superfícies vegetadas no revestimento de taludes; e (iv) presença de porções densamente vegetadas ao redor dos platôs das construções (Figura 2).

Figura 2. Exemplo de estratégias projetuais na implantação no *campus* da UFJF



(a) Estratégias 1 e 3: afastamento receptor – fonte, com presença de superfícies vegetadas



(b) Estratégia 2 e 3: desnível receptor – fonte, com presença de superfícies vegetadas



(c) Estratégia 4: porções densamente vegetadas no entorno de conjuntos edilícios

Fonte: (a) e (b) Do autor, 2020; (c) UFJF, 2017

## 3.2 Mapeamento Sonoro

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 as análises.

### 3.2.1 Coleta de dados

Para a coleta de dados, foi elaborado um quadro com as estratégias projetuais identificadas, com base em Valadares (1997), contendo as principais informações das regiões estudadas. Posteriormente, tais características foram confrontadas com os valores de nível de pressão sonora registrados em cada ponto. Dessa forma, os principais tópicos consistiram em: topografia do local; distâncias dos pontos da Fonte ao Ponto (F-P), de um Ponto a outro Ponto (P-P) e de um Ponto a uma Fachada mais próxima (P-F) (Quadro 1); tipo de pavimentação; e sentido de propagação do ruído no local, conforme Quadro 1. Assim, foi possível organizar uma base de dados com as especificidades de cada área, distribuídas pelos segmentos. 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 1. Quadro resumo para a 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 alinhamento (P-P) - De um Ponto a uma Fachada mais próxima (P-F)
Revestimento do piso	- Vegetado - Pavimentado
Sentido de propagação	- Em nível - Ascendente - Descendente

Fonte: Do autor, 2020

### 3.2.2 Medições *in loco*

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 A).

O total de pontos de medição variou entre os segmentos (Figura 3) sendo que o número de pontos definido considerou a área e a quantidade de colaboradores na equipe de trabalho, tendo em vista que todas as medições foram feitas ao mesmo tempo. Assim, com o uso de três sonômetros, foram medidos simultaneamente conjuntos de três pontos por vez. Dessa forma, estabeleceu-se um geral de 24 pontos de medição, considerando os quatro segmentos (Tabela 2).

Esses pontos estão localizados nas duas vias de maior fluxo de pedestres e automóveis da universidade. Os segmentos 1 (corte AA), 2 (corte BB) e 3 (corte CC) situam-se na área principal da universidade, onde se encontra a reitoria, biblioteca central e praça cívica. Cercada por um bosque com extensa vegetação e um lago, essa região possui uma topografia em aclive que se inicia no marco +0m até o +15m. Mas, apesar disso, aparentemente esse desnível é suave, sendo os Segmentos localizados no trecho plano desse anel viário. Especificamente, ele possui um sentido único de direção que interliga dois acessos principais, além dos acessos às demais plataformas. Por toda sua extensão, há uma ciclofaixa utilizada pela população da cidade, pontos de ônibus e lombadas redutoras de velocidade. Logo, há interferências de ruído causado tanto pela aceleração dos automóveis e pelo uso de bicicletas, quanto pela frenagem dos veículos e pela concentração de pedestres prestes a atravessar de um ponto a outro. Ademais, como é possível de se observar na figura abaixo, os três segmentos em questão possuem desníveis dos edifícios em relação aos automóveis de até 5 metros, repetindo essa configuração por toda a região.

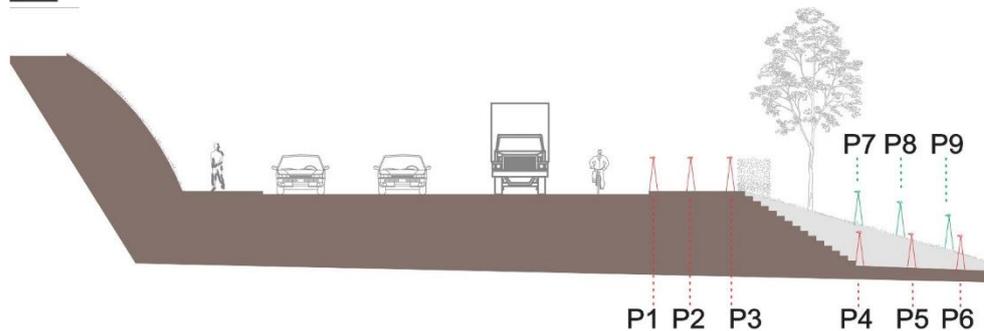
Já o segmento 4 (corte DD) está localizado na segunda via mais movimentada devido ao Restaurante Universitário (RU), que atende todos os usuários do *campus*. Portanto, apesar desse fluxo se intensificar apenas nos momentos de funcionamento

do RU, é suficiente para o aumento do ruído considerável do local. Essa é a área mais alta de todo o *campus*, a +80m de aclave em relação ao anel viário principal. Apesar de não haver desníveis entre as construções e a via, todas 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.

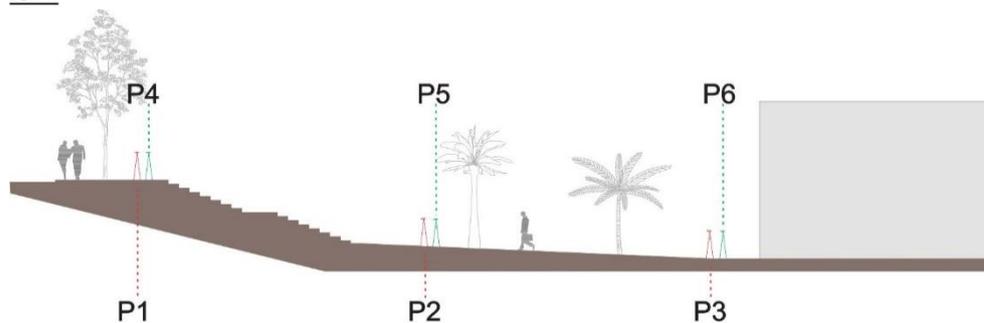
Figura 3. Localização dos cortes e pontos no *campus* da UFJF de acordo com os segmentos



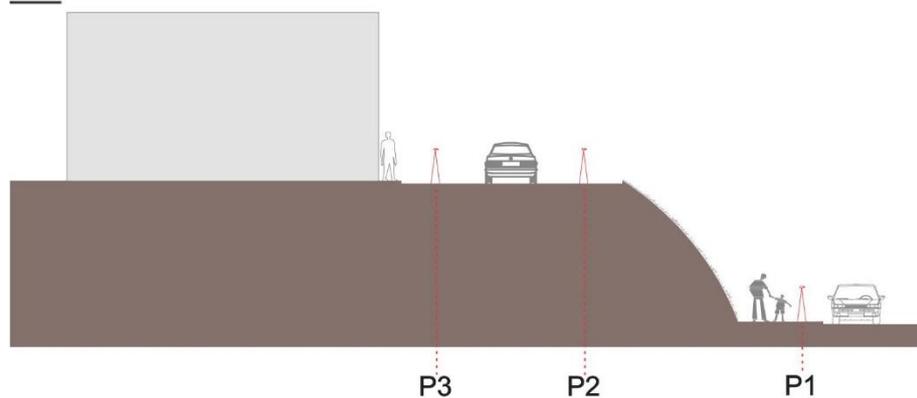
**S1**



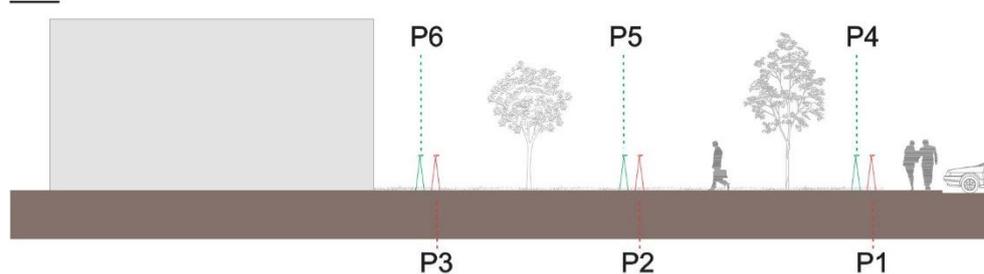
**S2**



**S3**



**S4**



P Pontos  
 ■ Pontos em áreas gramadas  
 ■ Pontos em áreas pavimentadas



Tabela 2. 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: Do autor, 2020

As medições do nível de pressão sonora foram feitas de acordo com a norma brasileira NBR 10.151 (ABNT, 2019), que recomenda 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, ela não especifica um tempo mínimo para a medição, mas determina que deve ser escolhido de forma a conseguir caracterizar o ruído local. Para as medições, utilizando o método simplificado da NBR 10.151 (ABNT, 2019), os equipamentos foram fixados a uma distância de 1,2 metros do piso e no mínimo 2 metros de quaisquer superfícies refletoras.

O cenário de medição foi definido de acordo com um dos períodos de pico do tráfego de veículos e pedestres, sendo em um dia da semana, no período da manhã. 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 dentro da universidade, utilizando o método adotado por Brasileiro (2017) com contagem durante 5 minutos (Tabela 3). É importante ressaltar que a parte prática deste estudo foi aplicada em situação normal do ano letivo, no primeiro semestre de 2019, sem interferência de restrições de passagem devido à pandemia ocasionada pelo Corona Vírus.

No dia das medições, a temperatura estava amena (média de 24°C) e a velocidade do vento estável, sem interferências audíveis vindas da natureza. Os equipamentos utilizados foram Sonômetros Digitais Portáteis Mod. MSL-1355B, devidamente calibrados e configurados para medições de nível de pressão sonora instantâneos ponderados em “A” e no modo “Fast”. Para o tempo de medição, como este não é especificado pela norma, foi selecionada duração de 3 minutos por ponto, segundo análises estatísticas de Zannin *et al.* (2013) e De Souza, Barbosa e Alberto (2020). Isso foi feito por ser considerado um tempo adequado para caracterizar os níveis de pressão sonora em diferentes locais. As amostras foram anotadas manualmente a

cada 5 segundos, resultando em 36 dados de níveis de pressão sonora por ponto de medição.

Tabela 3. Contagem do fluxo de veículos

PERÍODO	FLUXO					TOTAL EM 5 MIN
	LEVE			PESADO		
	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: Do autor, 2020

Em adição aos valores de nível de pressão sonora equivalentes contínuos (LAeq.), também foram definidos estatisticamente os níveis de descritores acústicos mínimo (LAFmin - menor nível de pressão sonora no período de medição) e máximo (LAFmax - maior nível de pressão sonora no período de medição), além dos percentis 10% (LAF10 - nível de pressão sonora excedido em 10% do tempo de medida efetiva) e 90% (LAF90 - nível de pressão sonora excedido em 90% do tempo de medida efetiva).

### 3.3 Cálculo de decaimento de níveis de pressão sonora teórico e empírico

Posteriormente, julgou-se importante o cálculo de decaimento de níveis de pressão sonora teórico e empírico a fim de se notar se houve uma diferença discrepante entre o valor medido *in loco* e o calculado. Para fontes acústicas com propagação ao ar livre, os níveis de pressão sonora podem ser estimados no sentido da propagação a partir do nível de potência sonora da fonte, sua diretividade e área de distribuição da energia acústica na atmosfera, com base em Gerges (1992; 2000) conforme equação a seguir:

$$NPS_r = NWS + DI(\theta) - 10 \cdot \log_{10}(A_r) \quad \text{Eq. [1]}$$

NPS<sub>r</sub>: nível de pressão sonora, em [dB] a uma distância “r” em [m];

NWS: nível de potência sonora da fonte, em [dB];

DI: diretividade acústica da fonte, em [dB];

A<sub>r</sub>: área exposta à energia acústica durante sua propagação acústica a uma

distância “r” em [m] da fonte.

No caso do ruído de tráfego veicular rodoviário, a área de propagação assume o formato de uma superfície cilíndrica, sendo possível reescrever a equação acima da seguinte forma:

$$NPS_r = NWS + DI(\theta) - 10 \cdot \log_{10}(2 \cdot \pi \cdot r \cdot g) \quad \text{Eq. [1.a]}$$

r: distância entre o eixo fonte linear e o receptor, em [m];

g: geratriz ou extensão da superfície cilíndrica de propagação, em [m]; ou

$$NPS_r = NWS + DI(\theta) - 10 \cdot \log_{10}(r) - 10 \cdot \log_{10}(g) - 10 \cdot \log_{10}(2 \cdot \pi) \quad \text{Eq. [1.a]}$$

e, então,

$$NPS_r = NWS + DI(\theta) - 10 \cdot \log_{10}(r) - 10 \cdot \log_{10}(g) - 8 \quad \text{Eq. [1.b]}$$

Nesse momento, o interesse consistiu em comparar os decaimentos de níveis de pressão sonora<sup>4</sup> entre valores estimados de uma propagação linear de referência - decaimento teórico - com decaimentos de valores medidos nas sequências de pontos nos segmentos selecionados no *campus* – decaimento empírico - para se avaliar o efeito das estratégias projetuais. Assim, a diferença de nível sonoro entre dois pontos foi estimada conforme a equação a seguir, em condição de campo livre:

$$D = NPS_{r1} - NPS_{r2} \quad \text{Eq. [2]}$$

D: decaimento entre níveis de pressão acústica, em [dB];

$NPS_{r1}$ : nível de pressão sonora, em [dB] a uma distância “r1” em [m];

$NPS_{r2}$ : nível de pressão sonora, em [dB] a uma distância “r2” em [m].

Assim,

$$D = [NWS + DI(\theta) - 10 \cdot \log_{10}(r_1) - 10 \cdot \log_{10}(g) - 8] - [NWS + DI(\theta) -$$

---

<sup>4</sup> Um decaimento sonoro consiste em uma diferença de níveis acústicos ao longo de uma propagação acústica.

$$10 \cdot \log_{10}(r_2) - 10 \cdot \log_{10}(g) - 8] \quad \text{Eq. [2.a]}$$

Considerando que se anulam os termos  $[NWS - NWS]$ ;  $[DI(\theta) - DI(\theta)]$ ;  $[-10 \cdot \log_{10}(g) + 10 \cdot \log_{10}(g)]$  e  $[-8 + 8]$ ,

$$D = 10 \cdot \log_{10}(r_2) - 10 \cdot \log_{10}(r_1) \quad \text{Eq. [2.b]}$$

ou

$$D = 10 \cdot \log_{10}(r_2 / r_1) \quad \text{Eq. [2.c]}$$

Por fim, segundo Eq. [2] e Eq. [2.c]

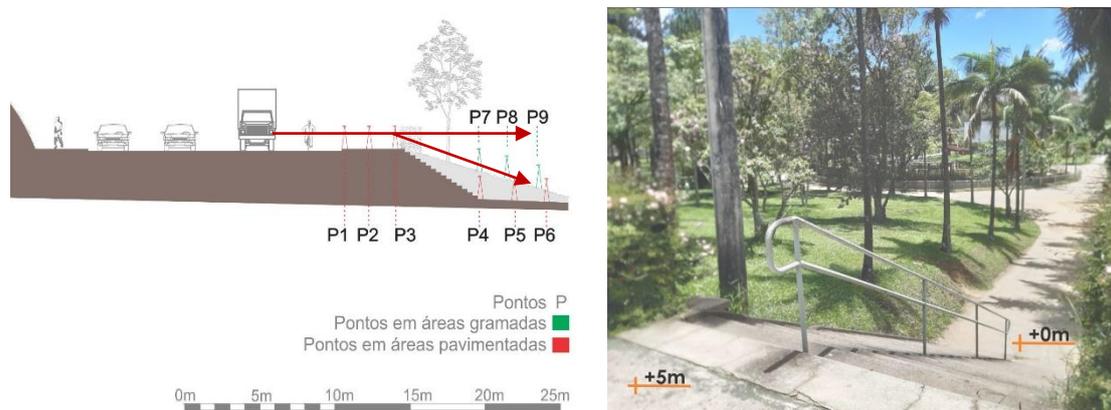
$$NPS_{r1} - NPS_{r2} = 10 \cdot \log_{10}(r_2 / r_1) \quad \text{Eq. [2.d]}$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise geral dos segmentos

Em todos os segmentos analisados notou-se que os afastamentos e/ou o uso de taludes para o desnivelamento das edificações em relação a via, de fato, auxiliam para a diminuição do ruído de tráfego considerando o pavimento térreo das edificações localadas dentro da linha de sombra acústica. O Segmento 1 (pontos do corte AA) (Figura 4) é a área onde há maior fluxo de veículos e pedestres do *campus*, caracterizada por uma via principal que se interliga nas vias secundárias, dando acesso a todos os conjuntos edilícios que sediam os cursos da universidade, além dos acessos principais que conectam as regiões Norte-Sul da cidade. Ademais, em horários de pico, há muitos praticantes de atividade física, além dos estudantes e funcionários que circulam por essa mesma via.

Figura 4. Segmento 1 (Corte AA)

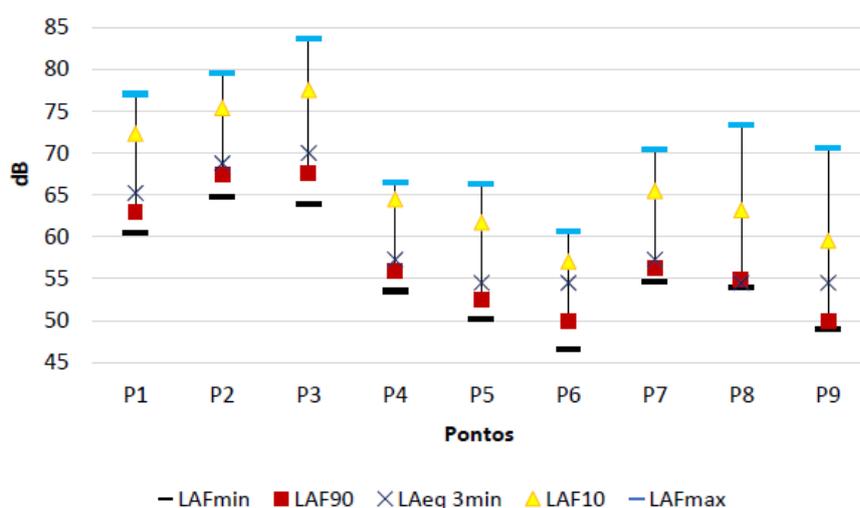


Fonte: Do autor, 2020.

Nos pontos desse segmento, não houve uma homogeneidade dos valores em relação ao afastamento na área pavimentada e não necessariamente o ponto mais distante à via foi o de valor mais baixo em termos do descritor acústico LAeq 3min. (Gráfico 1). 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 noção do efeito do afastamento e propagação descendente sobre piso vegetado e pavimentado pode ser observada se tomado os valores médios de LAeq 3min. Por sequência, houve uma média de 70

dB entre os pontos P1-P2-P3, lindeiros à via, e 60 dB nos demais em declive; ou seja, 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, solos absorvedores, como gramíneas, não proporcionem mais atenuação em relação ao piso pavimentado para pequenas distâncias entre a fonte e o receptor.

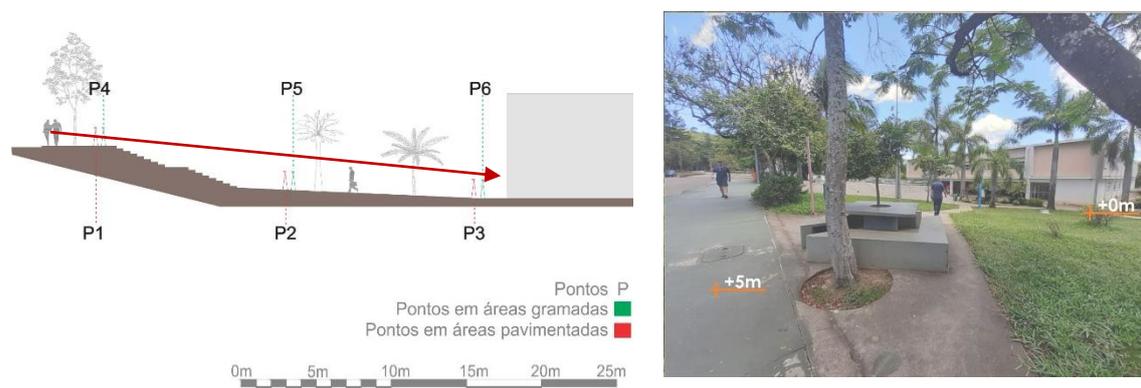
Gráfico 1. Descritores acústicos do Segmento 1



Fonte: Do autor, 2020

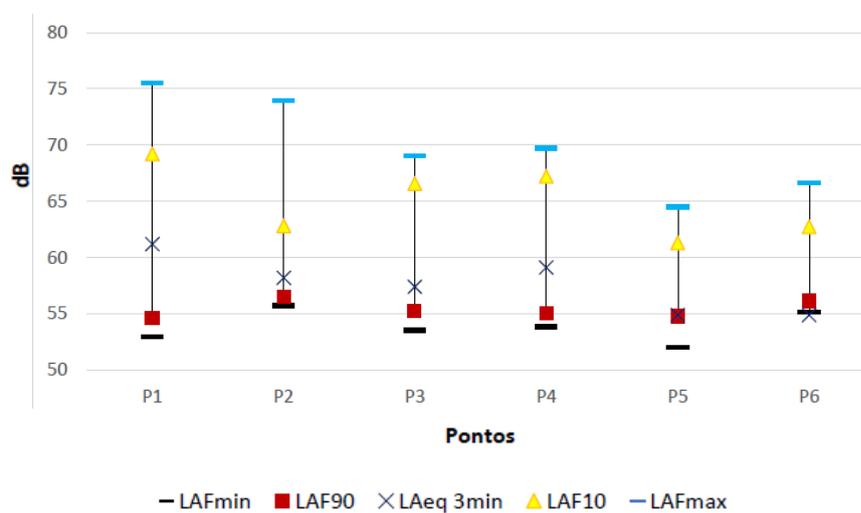
No Segmento 2 (Figura 5), há uma disposição de pontos que, mesmo em uma topografia não muito acentuada (desnível = +5m) devido ao grande afastamento da via em relação à edificação estudada, de aproximadamente 25m, foi constatada diminuição do descritor LAeq 3min entre 3 e 4 dB (Gráfico 2). Essa é uma área também próxima ao anel viário principal, porém não tão exposta ao fluxo veicular mais intenso decorrente da conexão Norte-Sul do sistema viário do *campus*. Nos pontos em cima de solo gramado, notou-se uma diferença de até -7 dB em relação aos pontos locados na calçada. A variação dentre os outros parâmetros acústicos foi maior onde o equipamento estava fixado em cima de superfície refletora e não absorvedora. No caso da sequência sobre piso pavimentado, foi possível observar o efeito de reflexão da fachada no último ponto de medição, menos evidente pelo descritor LAeq 3min. Assim, nota-se uma atenuação progressiva na sequência de pontos sobre piso vegetado.

Figura 5. Segmento 2 (Corte BB)



Fonte: Do autor, 2020.

Gráfico 2. Descritores acústicos do Segmento 2

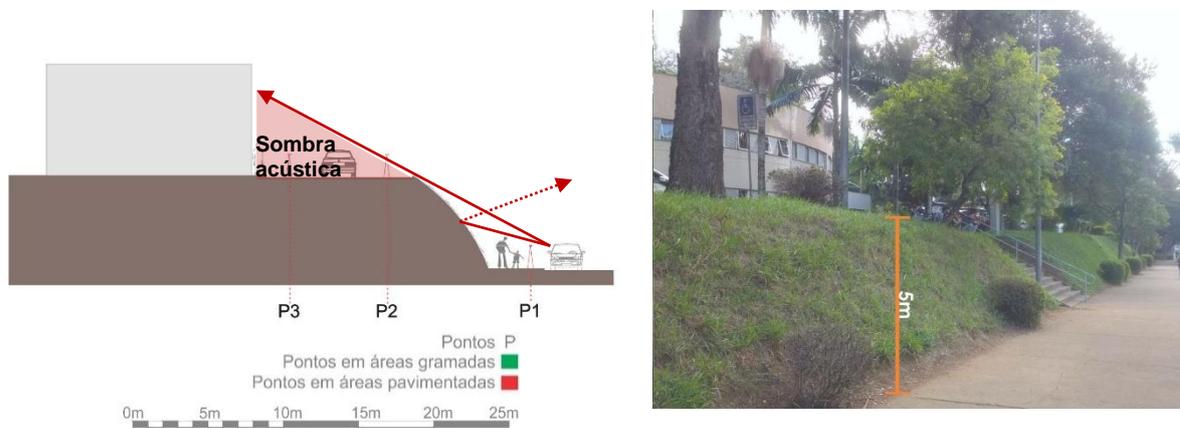


Fonte: Do autor, 2020.

Já o Segmento 3 (Figura 6) possui uma configuração com afastamento dos edifícios ao sistema viário principal do *campus* menor que no Segmento 1, de somente 10 metros. Porém, há um desnível acima de 5 metros das edificações em comparação a esse mesmo anel viário principal. 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 LAeq 3min 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 (na Figura 6, vê-se a sombra acústica criada no pavimento térreo do nível acima da via, devido ao desvio de ruído causado por influência da barreira). Nesse caso, todos os parâmetros acústicos

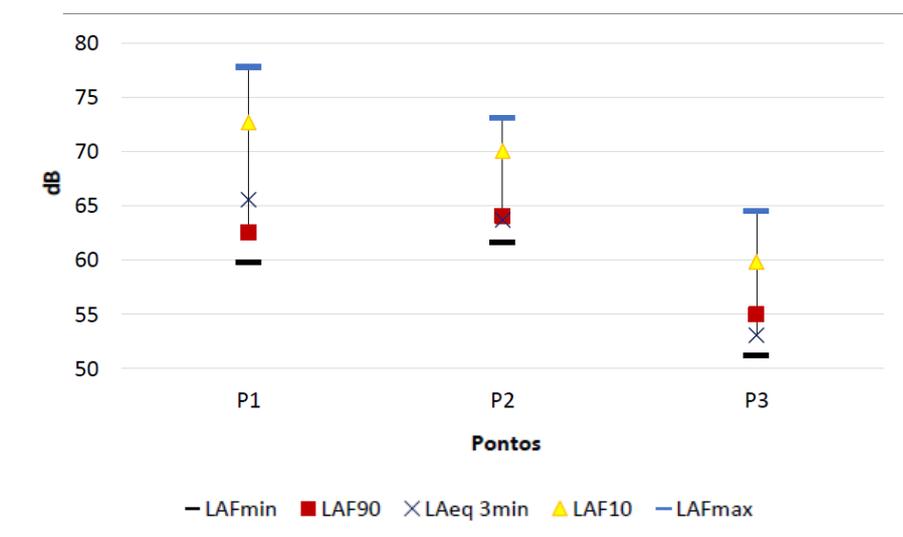
(Gráfico 3) tiveram valores atenuados com a distância, sem efeito de reflexão da fachada.

Figura 6. Segmento 3 (Corte CC)



Fonte: Do autor, 2020.

Gráfico 3. Descritores acústicos do Segmento 3

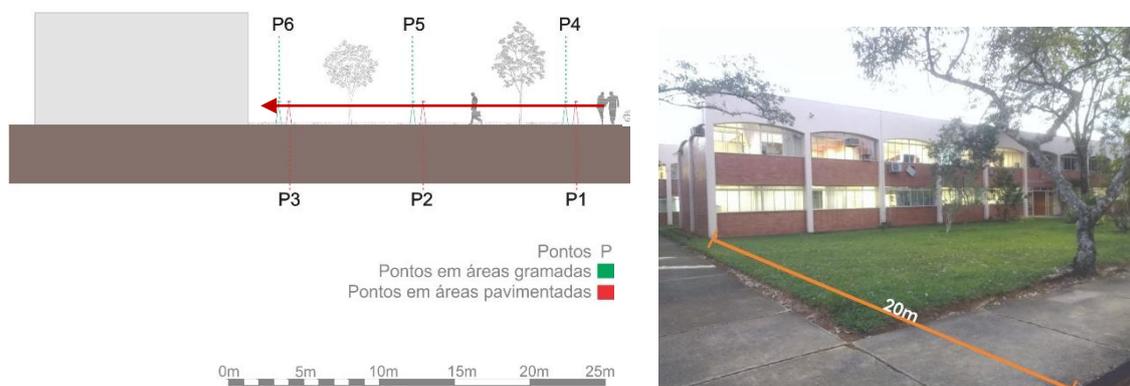


Fonte: Do autor, 2020.

Por fim, no Segmento 4 (Figura 7), que apresenta pontos distribuídos em uma área plana, o afastamento de 20 metros 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 LAeq 3min. 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 LAeq 3min, entre os pontos P2 e P3, enquanto entre os pontos P3 e P4 os valores do mesmo

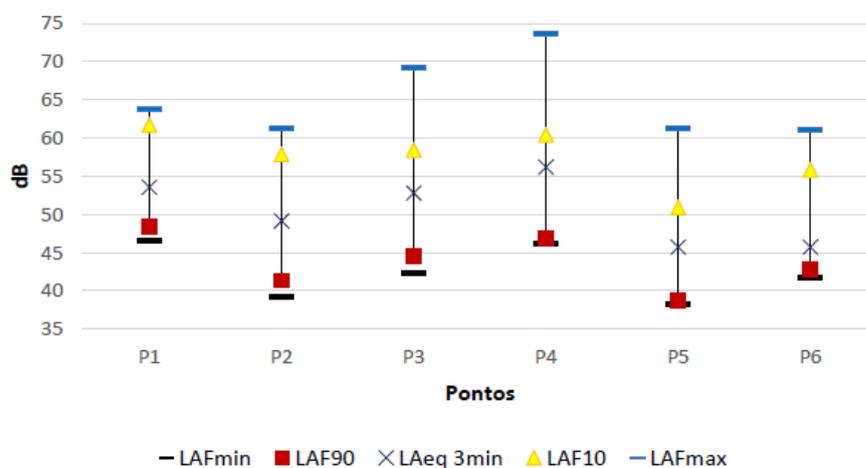
descritores se mantiveram estáveis. Quanto aos parâmetros LAFmin, LAFmax, LAF10 e LAF90 (Gráfico 4), a maior variação foi no ponto P4 que se encontra em uma área gramada, porém bem próxima ao passeio de concreto e à via asfáltica.

Figura 7. Segmento 4 (Corte DD)



Fonte: Do autor, 2020.

Gráfico 4. Descritores acústicos do Segmento 4

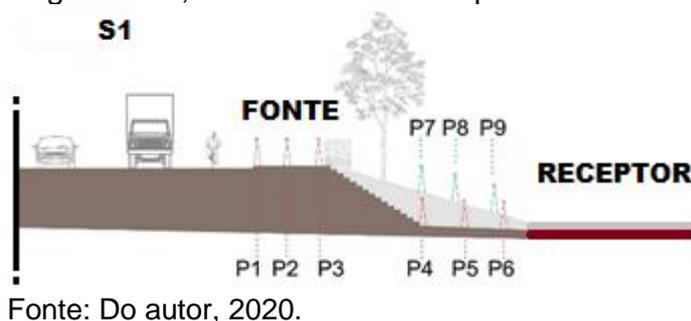


Fonte: Do autor, 2020.

## 4.2 Decaimento de níveis de pressão acústica teórico e empírico

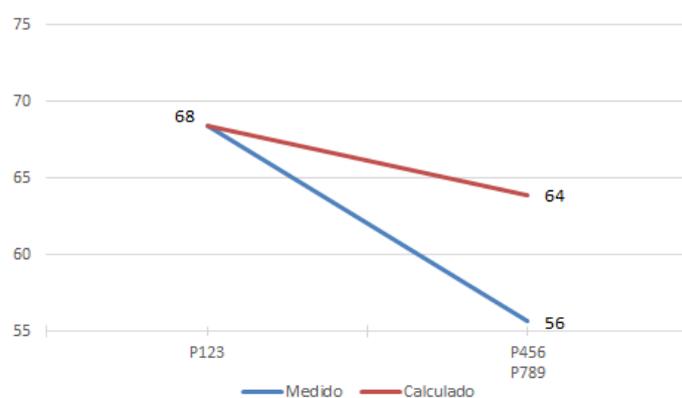
O conjunto de gráficos a seguir apresenta uma comparação entre os decaimentos empírico (DE, 'medido' na legenda) e teórico (DT, 'calculado' na legenda) de LAeq. 3 min nos quatro segmentos (S1, S2, S3 e S4) do *campus*.

Figura 8. Reapresentação do perfil do Segmento 1, situando fonte-receptor



O Segmento 1 foi composto de três sequências de três pontos de medição cada, duas em desnível e uma nivelada. Os pontos estavam alinhados desde a via (fonte) até uma área em nível inferior ao da via (receptor em potencial). A Sequência 1, que foi composta pelos pontos P1-P2-P3 (em nível) e P4-P5-P6 (em desnível), está sobre área impermeável (acimentado); e a Sequência 2, pontos P7, P8 e P9, sobre área permeável (gramado).

Gráfico 5. Decaimento de níveis de pressão sonora (NPS) no Segmento 1

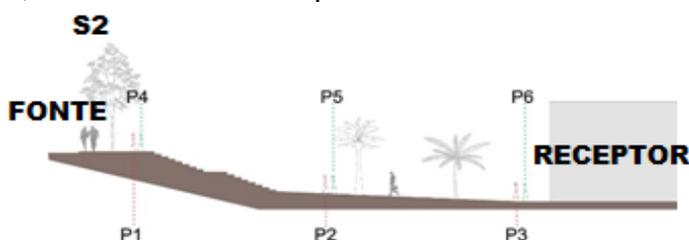


No Gráfico 5 constam DE e DT nas sequências 1 e 2 Segmento 1. A Sequência 1 foi compactada em um primeiro grupo de pontos, substituído por P<sub>123</sub> (média logarítmica da primeira tríade de pontos), e em um segundo grupo, sendo P<sub>456</sub> (média logarítmica da segunda tríade de pontos). A Sequência 2 foi compactada nos pontos P<sub>789</sub>. O NPS foi igual em P<sub>456</sub> e P<sub>789</sub>. O DE foi de 8 dB, o dobro do DT.

P<sub>456</sub> e P<sub>789</sub> com NPS iguais talvez seja explicado pelo efeito conjunto da pavimentação e desnível entre

eles.

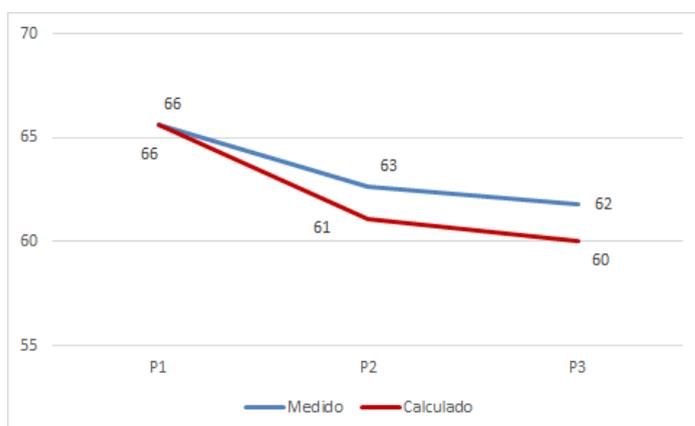
Figura 9. Reapresentação do perfil do Segmento 2, situando fonte-receptor



Fonte: Do autor, 2020.

No Segmento 2 há duas sequências de três pontos de medição cada, em suave declive, os quais estavam alinhados desde a via (fonte) até o prédio (receptor). Os pontos P1, P2 e P3 estavam sobre área impermeável (acimentado), enquanto os pontos P4, P5 e P6 se localizaram sobre área permeável (gramado).

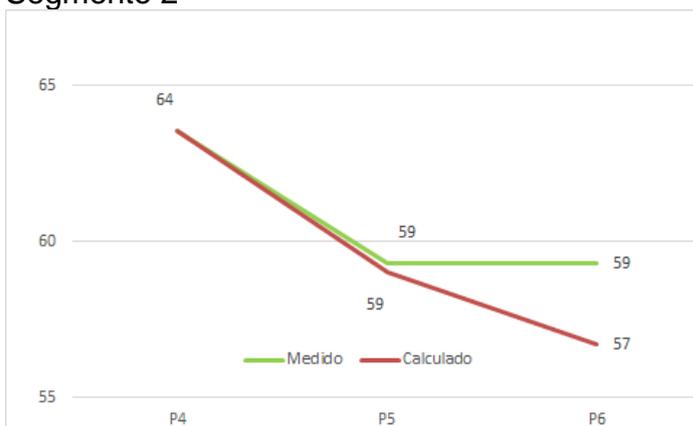
Gráfico 6. Decaimento de níveis de pressão sonora (NPS) dos pontos P1, P2 e P3, do Segmento 2



Fonte: Do autor, 2020.

No Gráfico 6 constam DE e DT de NPS desde a fonte até o receptor em relação aos pontos P1 a P3, do Segmento 2. O DE (linha azul) foi descontínuo, em duas fases, na primeira delas pouco acentuado (de P1 para P2), com atenuação de 3 dB e a segunda, mais suave (de P2 para P3), com atenuação de 1 dB. O decaimento final foi de 4 dB. No DT (linha vermelha) também houve descontinuidade similar, com uma fase com atenuação pouco acentuada de 5 dB entre P1 e P2, e a outra com atenuação mais suave de 1 dB entre P2 e P3. O decaimento final foi de 6 dB. DE foi dois terços do

Gráfico 7. Decaimento de níveis de pressão sonora (NPS) dos pontos P4, P5 e P6, do Segmento 2



Fonte: Do autor, 2020.

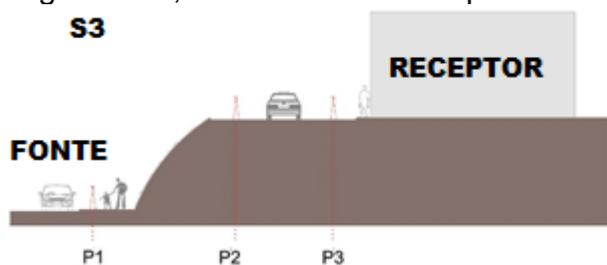
valor de DT.

Nesses pontos, DE segue o padrão do DT, mas com atenuações menores talvez pelo efeito do declive.

No Gráfico 7 constam DE e DT de níveis de pressão sonora (NPS) desde a fonte até o receptor em relação aos pontos P4 a P6, do Segmento 2. O DE foi descontínuo, em duas fases, a primeira pouco acentuada (de P4 para P5), com atenuação de 5 dB e a segunda inalterada (de P5 para P6), com atenuação nula, resultando num decaimento final (ambas as fases) de 5 dB. O DT também foi descontínuo, em duas fases, a primeira pouco acentuada (de P4 para P5), com atenuação de 5 dB e a segunda mais suave (de P5 para P6), com atenuação de 2 dB. O decaimento final (ambas as fases) de 7 dB.

Nessa sequência, a atenuação é anulada entre P5 e P6 talvez pelo efeito de reflexões da fachada.

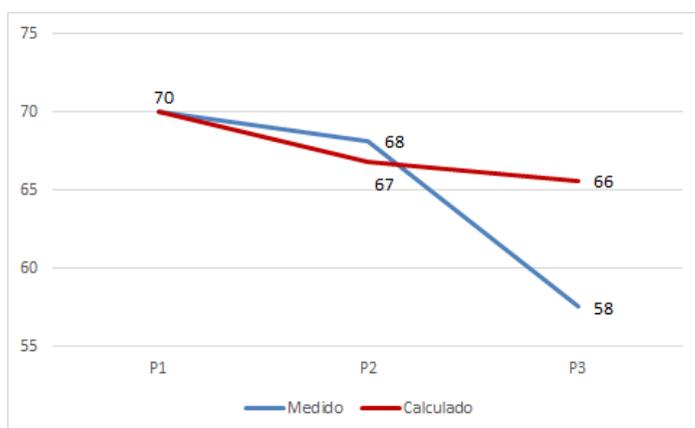
Figura 10. Reapresentação do perfil do Segmento 3, situando fonte-receptor



Fonte: Do autor, 2020.

No Segmento 3, em desnível, composto dos pontos P1, P2 e P3, os quais estavam alinhados desde a via (fonte) até a fachada de um prédio (receptor) assentado em um platô de nível superior ao da via. Entre o P1 situado na calçada (piso acimentado) e o P2, havia um talude de superfície permeável (gramado), com um desnível de 5m. Os pontos estavam sobre área impermeável (acimentado).

Gráfico 8. Decaimento de nível de pressão sonora (NPS) no Segmento 3

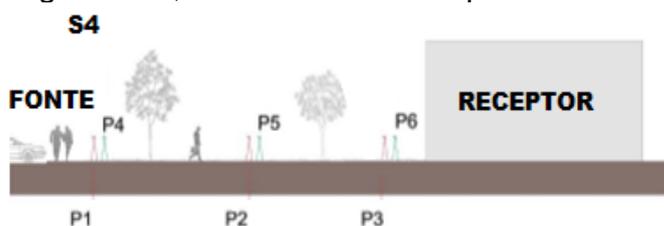


Fonte: Do autor, 2020.

No Gráfico 8 constam DE e DT em termos dos níveis de pressão sonora (NPS) desde a fonte até o receptor, no Segmento 3. O DE foi descontínuo, em duas fases, na primeira sendo suave (entre P1 e P2), com atenuação de 2 dB. Já na segunda fase, ele foi mais acentuado (entre P2 e P3), com atenuação de 10 dB. Em termos de decaimento final (ambas as fases), este foi de 12 dB. O DT foi mais homogêneo, com atenuação de 3 dB entre P1 e P2, e de 1 dB entre P2 e P3. A atenuação final no DT foi de 4 dB. DT foi menor que o DE, sendo aquele um terço

deste. Tal diferença entre DE e DT talvez seja explicada pelo efeito conjunto da absorção sonora da superfície do talude e seu efeito barreira entre P1 e P3.

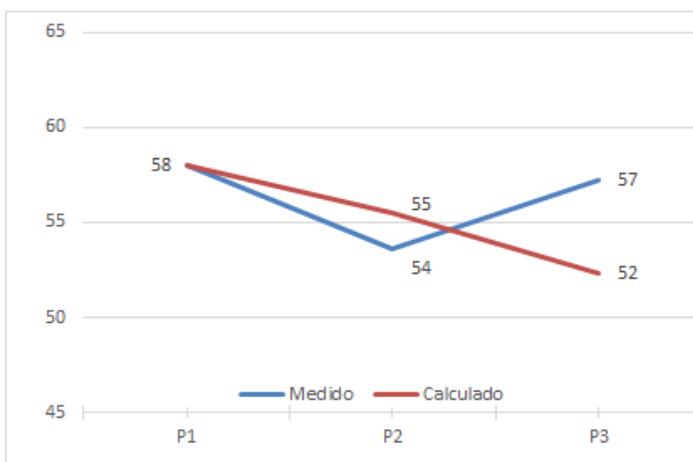
Figura 11. Reapresentação do perfil do Segmento 4, situando fonte-receptor



Fonte: Do autor, 2020.

O Segmento 4 foi composto de duas sequências de três pontos de medição cada, em nível, os quais estavam alinhados desde a via (fonte) até o prédio (receptor). Os pontos P1, P2 e P3, estão sobre área impermeável (acimentado) e os pontos P4, P5 e P6, sobre área permeável (gramado).

Gráfico 9. Decaimento de níveis de pressão sonora (NPS) dos pontos P1, P2 e P3, do Segmento 4



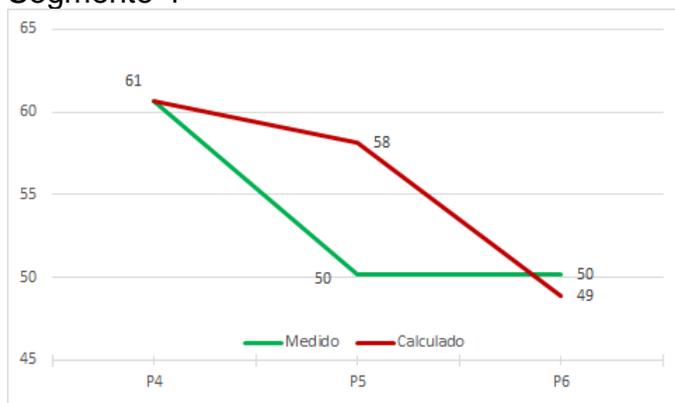
Fonte: Do autor, 2020.

No Gráfico 9 constam os decaimentos empírico (DE) e teórico (DT) de níveis de pressão sonora desde a fonte até o receptor entre os pontos P1 a P3, do Segmento 4. O DE, baseado em valores medidos (linha azul) foi descontínuo, em duas fases, a primeira esperada (de P1 para P2), com atenuação de 4 dB e a segunda alterada (de P2 para P3), com reforço de 3 dB, resultando num decaimento final (ambas as fases) de 1 dB. Já o DT, baseado em valores calculados a partir do

primeiro valor empírico de cada sequência (linha vermelha), foi contínuo, com atenuações de 3 dB tanto entre P1 e P2, quanto entre P2 e P3. O decaimento final foi de 6 dB.

Nessa sequência (P1-P2-P3), o reforço sonoro pode ser associado à influência da reflexão sonora da fachada sobre P3.

Gráfico 10. Decaimento de níveis de pressão sonora (NPS) dos pontos P4, P5 e P6, do Segmento 4



Fonte: Do autor, 2020.

No Gráfico 10 constam DE e DT de níveis de pressão sonora (NPS) desde a fonte até o receptor entre os pontos P4 a P6, no Segmento 4. O DE foi descontínuo, em duas fases, a primeira acentuada (de P4 para P5), com atenuação de 9 dB e a segunda inalterada (de P5 para P6), com atenuação nula, resultando num decaimento final (ambas as fases) de 9 dB. O DT também foi descontínuo, em duas fases, a primeira suave (de P4 para P5), com atenuação de 3 dB e a segunda acentuada (de P5 para P6), com atenuação de 9 dB, o triplo da fase anterior, resultando num decaimento final (ambas as fases) de 12 dB.

Nessa sequência entre os pontos P4 a P6, a excessiva atenuação

talvez seja explicada pela absorção sonora do piso permeável.

### 4.3 Considerações finais

Cruzando as informações da sequência do quinto ao décimo gráfico acima apresentados, com os cortes esquemáticos de locação dos pontos de medição, vê-se que a estratégia projetual do afastamento é pertinente, pois à medida que se afasta da fonte acústica há uma tendência de decaimento de nível de pressão sonora empiricamente constatado e teoricamente formulado nas equações Eq. [1] e Eq. [2.d]. O decaimento empírico sempre foi constatado entre o ponto (em S2, S3 e S4) ou conjunto de pontos (em S1) mais próximo da fonte e aqueles intermediários. Já entre o segundo ponto (em S2, S3 e S4) ou conjunto de pontos (em S1) intermediários e aqueles mais afastados nem sempre foi constatado o decaimento empírico, o qual foi descaracterizado com um aumento do nível sonoro na proximidade da fachada (em S4, P3) ou neutralizado pelo mascaramento do ruído ambiente (em S2, P6; S4, P6).

Em termos de estratégia projetual de superfície vegetada, o decaimento empírico foi predominantemente mais acentuado que o decaimento teórico (S1, P123 → P456; P789 e S4, P4 → P5 → P6). Na sequência de pontos em nível, o decaimento em superfície vegetada foi maior que na pavimentada (comparação entre gráfico 5 e gráfico 6, entre P1 → P2 e P4 → P5).

No que tange a estratégia projetual do talude, sua influência no decaimento é mais significativa entre o ponto mais próximo à fonte e o ponto mais afastado (em S3, P1 → P3). É possível notar que essa estratégia obstrui a visada direta entre o ponto próximo e o afastado, o que não ocorre entre o ponto próximo e o intermediário (em S3, P1 → P2) evidenciando seu efeito barreira. Nesse caso, o fato da distância entre tais pontos ser tomada com base na hipotenusa ( $h$ ) da configuração geométrica de perfil (devido ao desnível) com base no cateto maior ( $C$ ) da configuração geométrica de perfil (sem desnível) com  $h > C$ , é de se esperar que o decaimento em relação à hipotenusa seja maior que aquele em relação ao cateto ( $DE_h > DE_C$ ).

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo investigou duas estratégias projetuais de implantação no *campus* da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) para verificar suas eficiências quanto ao nível de qualidade ambiental acústica frente ao ruído produzido pelo tráfego veicular rodoviário predominantemente em seu sistema viário. Para isso, houve a coleta de dados e medições *in loco* de diferentes áreas do *campus*, buscando uma variedade de situações de investigação: em nível, em desnível (aclive e declive), com pisos impermeáveis e permeáveis.

Foram constatados alguns aspectos importantes:

- Em todos os segmentos analisados os afastamentos e/ou o uso de taludes para o desnivelamento das edificações em relação a via, de fato, auxiliam para a diminuição do ruído de tráfego;
- Os pontos que se fixavam acima de superfícies permeáveis (gramadas) tiveram uma absorção de até 10 dB em relação às superfícies impermeáveis (acimentados) refletoras;
- Possivelmente, em ambientes com um alto ruído devido ao fluxo intenso, solos absorvedores (como gramíneas) não proporcionarão uma atenuação significativa em relação ao piso pavimentado para pequenas distâncias entre a fonte e o receptor;
- Mesmo com a eficiência das estratégias de mitigação, estas ainda não asseguram índices de qualidade ambiental acústica recomendados pela NBR 10.151/2019.

A proximidade dos *campi* universitários com os centros urbanos pode tornar os espaços acusticamente degradados. Por isso, é imprescindível investigar se neles estão previstos métodos de mitigação quando do aumento do ruído de acordo com o fluxo que esses locais geram. Portanto, a relevância desta pesquisa reside no fato de que as estratégias utilizadas no *campus* da UFJF podem servir de base para orientar decisões de assentamento edilício em campi de universidades inseridas em contextos urbanos e estímulo de aprofundamento do tema em pesquisas futuras em outros estudos de caso. Investigações futuras devem ser desenvolvidas para ampliar a avaliação da eficácia de outras estratégias projetuais mitigadoras do ruído ambiental elencadas nessa monografia e, por outro lado, a reprodução de estudos

sobre as estratégias aqui avaliadas são importantes para ampliar o escopo empírico que baseiam os resultados apresentados.

## REFERÊNCIAS

- AL-MOSAWWE, 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>.
- ALBERTO, Klaus Chaves. University Campuses: experimentations on the relations between city and nature in Brazil. In: OLIVEIRA, Fabiano Lemes de; Mell, Ian (Ed.). **Planning Cities with Nature: Theories, Strategies and Methods**. Springer, 2019. p. 65-77.
- 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16425-1**: acústica - medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes Parte 1: aspectos gerais. Rio de Janeiro. ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.152**: acústica – níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro. ABNT, 2017.
- 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.
- BELL, P. A.; FISHER, J. D.; BAUM, A.; GREENE, T. C. **Environmental Psychology. Fort Worth**. Harcourt Brace Jovanovich: College Publishers, 2001.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasil, 1988. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm).
- BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Brasil, 1981. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm).
- BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Brasil, 1998. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm).
- BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001**. Brasil, 2001. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/LEIS\\_2001/L10257.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm).
- 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.

ÇANKAYA, Sıla. YILMAZER, Semiha. The effect of soundscape on the students' perception in the high school environment. In: INTER NOISE, 2016, Hamburgo. **Anais** [...]. Hamburgo: 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%3Di> hub. Acesso em: junho 2019.

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**, v. 190, n. 4, 2018.

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>.

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 252, de 29 de janeiro de 1999**. Brasil, 1999. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=252>.

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>.

EFICÁCIA. In: Michaelis. São Paulo: Editora Melhoramentos Ltda, 2021. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/eficacia/>. Acesso em: 01 de março de 2021.

EFICIÊNCIA. In: Michaelis. São Paulo: Editora Melhoramentos Ltda, 2021. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues->

brasileiro/eficiencia/. Acesso em: 01 de março de 2021.

FLORÊNCIO, Débora; BRASILEIRO, Tamáris; ARAÚJO, Eduardo; ARAÚJO, Virgínia; ARAÚJO, Bianca. Análise estatística do ruído de tráfego como validação para mapeamento acústico. In: XIV ENCAC X ELACAC, 2017, Balneário Camboriú. **Anais** [...]. Balneário Camboriú: 2017.

GIANNINI, Camila Fernanda; GERMANO, Paulo José Moraes Monteiro e Teixeira; OLIVEIRA, Laurence Damasceno de; SOARES, Paulo Fernando. Avaliação do ruído ambiental: monitoramento e caracterização do ruído de fundo em Maringá. In: VII EPCC, 2011, Maringá. **Anais eletrônico**. Maringá: 2011. Disponível em: [http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2011/anais/camila\\_fernanda\\_giannini.pdf](http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2011/anais/camila_fernanda_giannini.pdf). Acesso em: 01 de março de 2021.

GERGES, S. N.Y. **Ruído: fundamentos e Controle**. Florianópolis, S.N.Y. Gerges, 1992, 2000.

HANSON, D. I.; JAMES, R. S.; NESMITH, C. Tire/ pavement noise study. Auburn: NCAT – **National Center for Asphalt Technology**, Report n. 04-02, 2004.

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>>.

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.

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>.

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](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2175-33692018000200400&script=sci_abstract&tlng=pt).

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>.

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 VIII ELACAC, 2013, Brasília. **Anais** [...]. Brasília: 2013.

MORILLAS, Juan Miguel Barrigón. GONZÁLEZ, David Montes. GOZALO, Guillermo Rey. A review of the measurement procedure of the ISO 1996 standard. Relationship with the European Noise Directive. *Science of The Total Environment*, v. 565, p. 595-606, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.207>

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.

ONCHANG, R.; HAWKER, D. W. Community Noise Exposure and Annoyance, Activity Interference, and Academic Achievement Among University Students. **Noise and Health**, v. 20(94), p. 69–76, 2018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5965003/>

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Criteres 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](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39513/9242540722_;jsessionid=EA1B14FD9B09ABDDAA08ADE44F8E630D?sequence=1).

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **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>.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **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>.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Guidelines for community noise**. 1999. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66217>.

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>.

PATERLINI, Leonardo. GARZÓN, Beatriz. Caracterización acústica de la arteria principal de la ciudad de San Miguel de Tucumán. In: XIV ENCAC X ELACAC, 2017, Balneário Camboriú. **Anais** [...]. Balneário Camboriú: 2017.

PORTARIA MTPS N.º 3.751. **Norma Regulamentadora nº 17 - Ergonomia**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no>

trabalho/normas-regulamentadoras/nr-17.pdf/view.

PORTARIA SEPRT N.º 1.359. **Norma Regulamentadora nº 15 - Atividades e Operações Insalubres**. 2019. Disponível em: [https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos\\_SST/SST\\_NR/NR-15-atualizada-2019.pdf](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-15-atualizada-2019.pdf).

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>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA. **Lei nº 5.535 - de 15 de dezembro de 1978**. BRASIL, 1978. Disponível em: <https://jfl legis.pjf.mg.gov.br/norma.php?chave=0000016460>.

SCHAFER, R. Murray. **A afinação do mundo**. [Tradução de Marisa Trench Fonterrada]. São Paulo: Fundação Ed., UNESP, 2001.

SILVA, Pérides. **Acústica Arquitetônica & Condicionamento de ar**. 5.ed. Belo Horizonte, Empresa Termo Acústica, 2005.

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.

SWAIN, Bijay. GOSWAMI, Shreerup. Soundscapes of Urban Parks in and around Bhubaneswar and Puri, Odisha, India: A Comparative Study. **Pollution**, v. 4, n. 1, 2018. DOI: 10.22059/POLL.2017.237639.295.

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>.

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

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.

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>.

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%3Di> hub.

