XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

# Mapeamento sonoro do campus sede da Universidade Federal de Santa Maria por aferição

## *Mapeo sonoro del campus principal de la Universidad Federal de Santa Maria mediante medición*

## *Sound mapping the main campus of the Federal University of Santa Maria by measuring*

Acústica arquitetônica e urbana / *Acústica arquitectónica y urbana / Architectural acoustics and urban*

**Pereira, Diego Rafael Vaz**
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, diegovazp@gmail.com

**Lourenço, Willian Magalhães de**
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, creativearquiteto@gmail.com

**Meller, Gabriela**
Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil, gabrielameller0@gmail.com

**Melo, Viviane Suzey Gomes de**
Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, viviane.melo@ufsm.br

**Resumo**

Este estudo tem como objetivo a elaboração de um mapa acústico do *campus* sede da Universidade Federal de Santa Maria, a partir de medições e simulações com aplicação do método de aferição de valores medidos para monitoramento ambiental dos níveis sonoros. As medições seguem as recomendações da norma ABNT NBR 10151:2019. As condições de afastamentos dos pontos também foram consideradas na simulação computacional, gerando mapas de ruído com pontos isolados, representando os monitoramentos realizados *in situ*. No estudo, foram comparados dados dos mesmos pontos de medição obtidos em simulações realizadas nos anos de 2013 e 2024, permitindo avaliar variações temporais e metodológicas. Os resultados demonstram que o método aplicado apresenta uma variação de ±0,2 dB entre valores medidos e simulados e que os níveis registrados ultrapassaram em até 22 dB os limites estabelecidos pela norma brasileira.

Palavras-chave: Acústica urbana. Mapeamento sonoro. Níveis de pressão sonora.

***Resumen***

*El objetivo de este estudio es crear un mapa acústico del campus principal de la Universidad Federal de Santa María, con el fin de actualizar el mapeo realizado en el año 2013, basado en mediciones y simulaciones utilizando el método de medición para el monitoreo ambiental de niveles de sonido. Las mediciones siguen las recomendaciones de la norma ABNT NBR 10151:2019. Las distancias de los puntos también fueron consideradas en la simulación, que generó mapas de ruido con puntos aislados, representando el monitoreo realizado in situ. En el estudio se compararon datos de los mismos puntos de medición obtenidos en simulaciones de 2013 y 2024, lo que permitió evaluar las variaciones temporales y metodológicas. Los resultados muestran que el método aplicado presenta una variación de ±0,2 dB entre los valores medidos y simulados y que los niveles registrados superaron los límites establecidos por la norma brasileña en hasta 22 dB.*

*Palabras clave: Acústica urbana. Mapeo de sonido. Niveles de presión sonora.*

***Abstract***

*The objective of this study is to create an acoustic map of the campus main campus of the Federal University of Santa Maria, for the purpose of updating the mapping carried out in 2013, based on measurements and simulations using the method of measuring sound level in environmental monitoring. The measurements follow the recommendations of the NBR 10151:2019 standard. The spacing of measurement points was also considered in computational simulation, generating noise aps with isolated points, representing the in-situ monitoring. In the study, data from the same measurement points obtained in simulations from 2013 and 2024 were compared, allowing the evaluation of temporal and methodological variations. The results show that the applied method has a variation of ±0.2 dB between measured and simulated values, and that the recorded levels exceeded the limits established by the Brazilian standard by up to 22 dB.*

*Keywords: Urban acoustics. Sound mapping. Sound pressure levels.*

## 1. Introdução

O mapeamento sonoro em universidades é uma área de estudo que busca entender e representar as características acústicas complexas de um *campus* universitário. Esses ambientes incluem áreas que exigem silêncio para estudo e trabalho, além de espaços vibrantes para lazer, tornando-os ideais para a análise de paisagens sonoras e o desenvolvimento de novas metodologias de avaliação e mapeamento (Mascolo *et al.,* 2024).

Um sistema eficaz para criar mapas de ruído envolve a medição simultânea de dados de ruído e GPS. Este método utiliza um medidor de nível de pressão sonora acoplado a um receptor GPS, permitindo a medição e armazenamento simultâneo dos níveis de ruído e da localização geográfica. Os dados são então processados para gerar mapas de ruído coloridos ou com linhas de contorno, que podem ser exportados para *software* GIS, utilizado no pós-processamento (Cho; Kim; Manvell, 2007). Um dos principais desafios no mapeamento sonoro é garantir uma densidade suficiente de pontos de medição para criar mapas mais precisos. A escolha da técnica de interpolação e a consideração da topologia da rede viária são fatores críticos para melhorar a precisão dos mapas sonoros (Aumond *et al.,* 2018).

A diversidade de ambientes em um campus universitário, que varia de áreas silenciosas a espaços vibrantes, apresenta desafios únicos para o mapeamento sonoro. A pesquisa contínua busca aprimorar as metodologias de avaliação e mapeamento para capturar com precisão essa complexidade (Mascolo *et al.*, 2022).

Mapas sonoros são ferramentas poderosas para a compreensão e gestão dos ambientes acústicos. Eles oferecem percepções valiosas sobre a distribuição espacial e temporal do som, em contextos urbanos, e promovem o engajamento público com a experiência sonora. A implementação eficaz de mapas sonoros requer uma consideração cuidadosa da densidade de observações, métodos de interpolação e a integração da percepção dos usuários (Kang *et al*., 2018; McCafferty, 2021).

Pereira (2024) propôs um método de aferição de valores a partir de medições acústicas em um maior número de pontos para calibração de mapas de ruído de transporte rodoviário.

O presente estudo objetiva propor a elaboração de um mapa de ruído a partir de medições e simulações acústicas com aplicação do método de aferição de valores dos níveis de pressão sonora registrados *in loco*.

## 2. Metodologia

O método adotado consiste em fazer o planejamento prévio de pontos de medição de ruído e posterior comparação, análise e simulação dos dados obtidos na coleta e aferição de valores em programa computacional. Este estudo foi baseado em medições acústicas *in situ* em uma cidade universitária para aferição de valores utilizando o *software* SoundPLAN Essential 5.1.

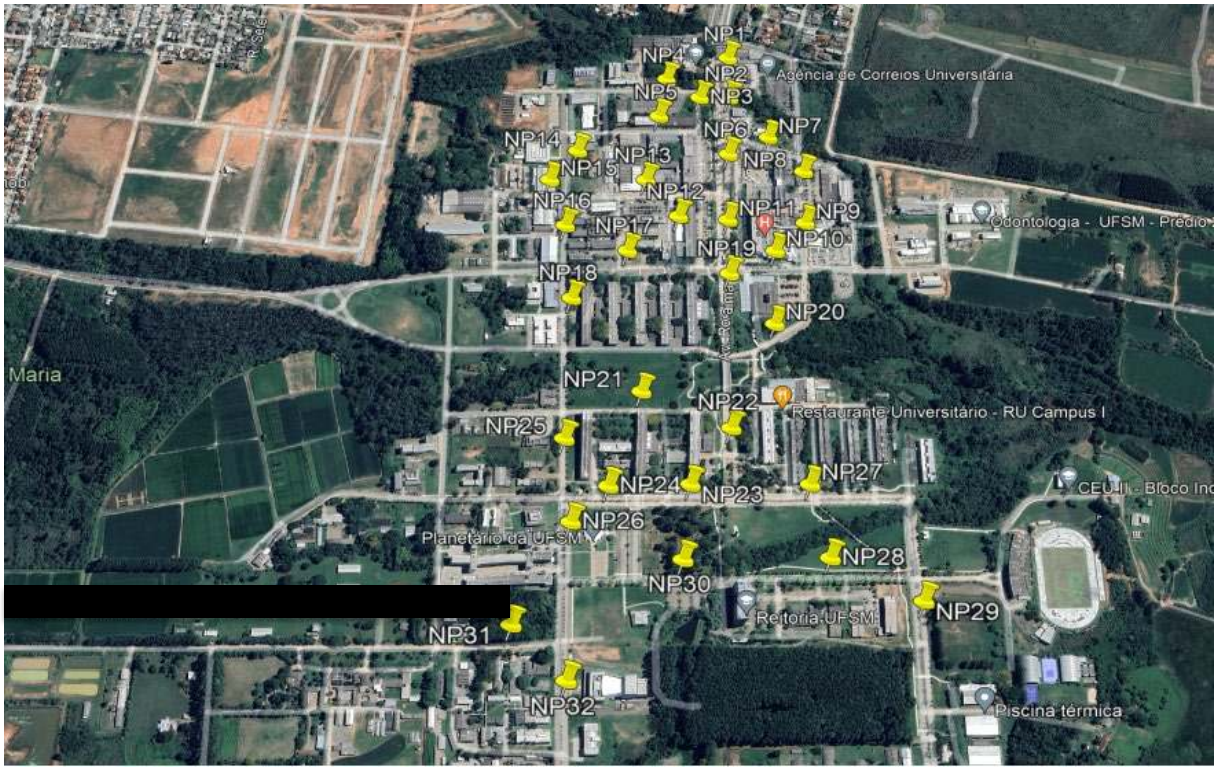
As medições acústicas foram realizadas com equipamentos da marca Brüel & Kjaer, utilizando um medidor de nível de pressão sonora modelo 2270; um microfone de campo livre modelo 4179; um calibrador acústico modelo 4231; e protetor de vento do mesmo fabricante. Também foram utilizados tripé, notebook, trenas e um termo-higrômetro.

As medições acústicas foram realizadas no *campus* sede da Universidade Federal de Santa Maria, em horários de maior fluxo veicular (17h às 19h). Os dados foram coletados conforme a NBR 10151 (ABNT, 2019) e a ISO 1996-2 (ISO, 2007), utilizando um sonômetro Classe 1. Os equipamentos possuíam certificado de calibração em dia e foi feito o ajuste de microfone antes e depois de cada uma das medições. O microfone (receptor) foi posicionado a 1,50 m de altura do solo, dentro do recomendado pela norma brasileira, e cada medição teve duração de 15 minutos, registrando os níveis de pressão sonora equivalente ponderados em A ($L_{Aeq,\ 15min}$).

Os pontos de medição foram distribuídos nas regiões mais suscetíveis ao ruído rodoviário, considerando distâncias de fachadas e características da via, conforme Figura 1.

Os valores obtidos foram processados no *software* SoundPLAN Essential 5.1, utilizando a normativa RLS-90, considerada nessa versão do SoundPLAN a mais adequada para avaliação de ruído rodoviário. Para maior precisão da simulação, foi adotado um número de três reflexões e um *grid* horizontal de 5×5 m. O mapa de ruído de tráfego rodoviário foi gerado a partir da importação de dados geoespaciais da universidade via OpenStreetMap e QGIS 3.22. Foram incorporadas informações sobre edificações e relevo, garantindo uma representação fiel do ambiente urbano. Tanto os pontos medidos quanto nos simulados, os receptores foram posicionados a 1,50 m de altura. O mapa de ruído foi detalhado com a inclusão de elementos ausentes na importação, como ruas, construções, muros e vegetação, além da consideração de suas respectivas alturas.

**Figura 1: Pontos de medição distribuídos no campus.**



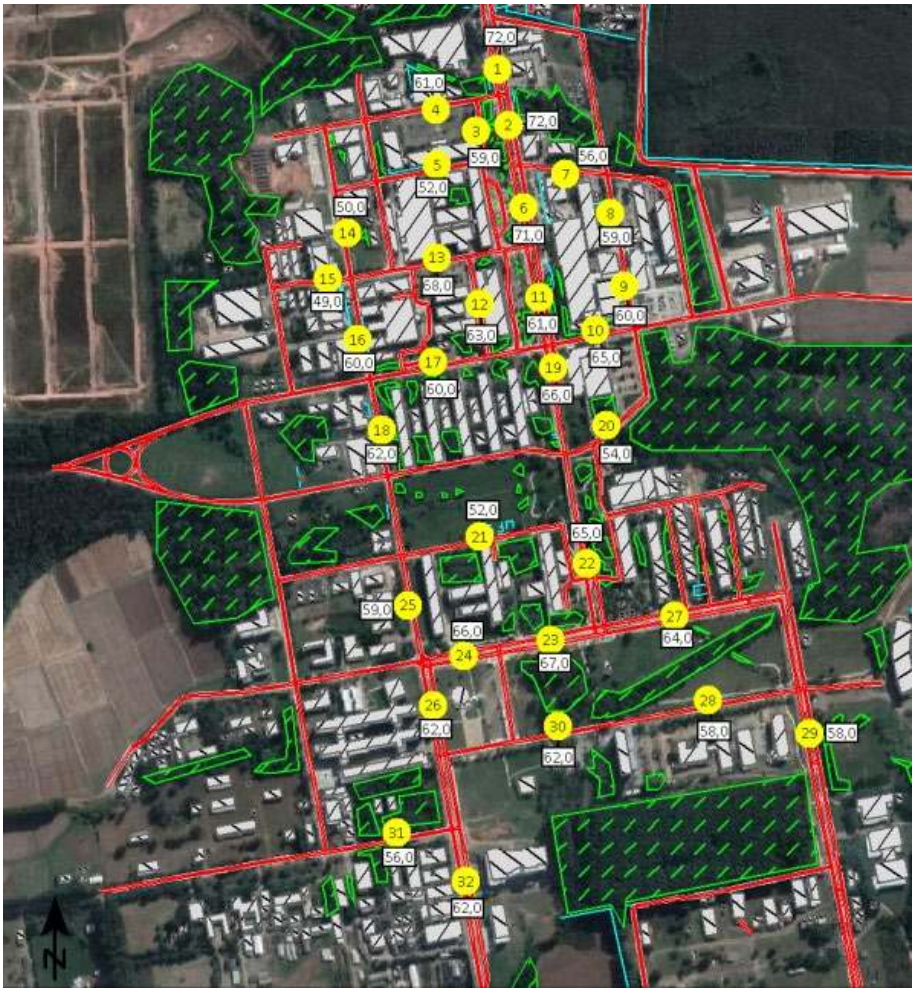

Fonte: Adaptado de Google Earth (2024).

As simulações foram calibradas para corresponder aos valores registrados nas medições. Para isso, os valores de emissão sonora das ruas foram ajustados até que os pontos simulados correspondessem às medições reais. A diferença máxima observada entre os valores simulados e os medidos foi de ±0,2 dB, garantindo a confiabilidade do modelo. Além disso, foi realizada uma comparação entre os resultados obtidos na simulação atual e uma simulação realizada em 2013 por Neto (2015). Os mapas acústicos foram analisados, identificando variações nos níveis de pressão sonora ao longo dos anos.

## 3. Resultados e discussões

A aplicação do método de aferição de valores permitiu que as simulações de pontos isolados resultassem em níveis de pressão sonora equivalentes aos medidos em campo. A calibração da simulação foi realizada utilizando receptores posicionados nos mesmos locais das medições, garantindo maior precisão. A Figura 2 ilustra a simulação dos pontos isolados equivalentes às medições realizadas *in loco*.

**Figura 2: Simulação de pontos isolados baseado nas medições realizadas no *campus*.**




Fonte: Autores (2024).

A Tabela 1 apresenta a comparação entre os valores obtidos nas medições na localização original e os valores simulados para os mesmos pontos geográficos, contemplando todos os dados de $L_{Aeq,T}$. A validação do modelo de simulação, por meio dos pontos isolados, possibilitou a construção de um mapa de ruído representativo da propagação sonora no *campus*, garantindo que ele refletisse as medições dos trinta e dois pontos de monitoramento (Figura 3).

**Tabela 1: Níveis de pressão sonora medidos e simulados em cada ponto, com ponderação A.**

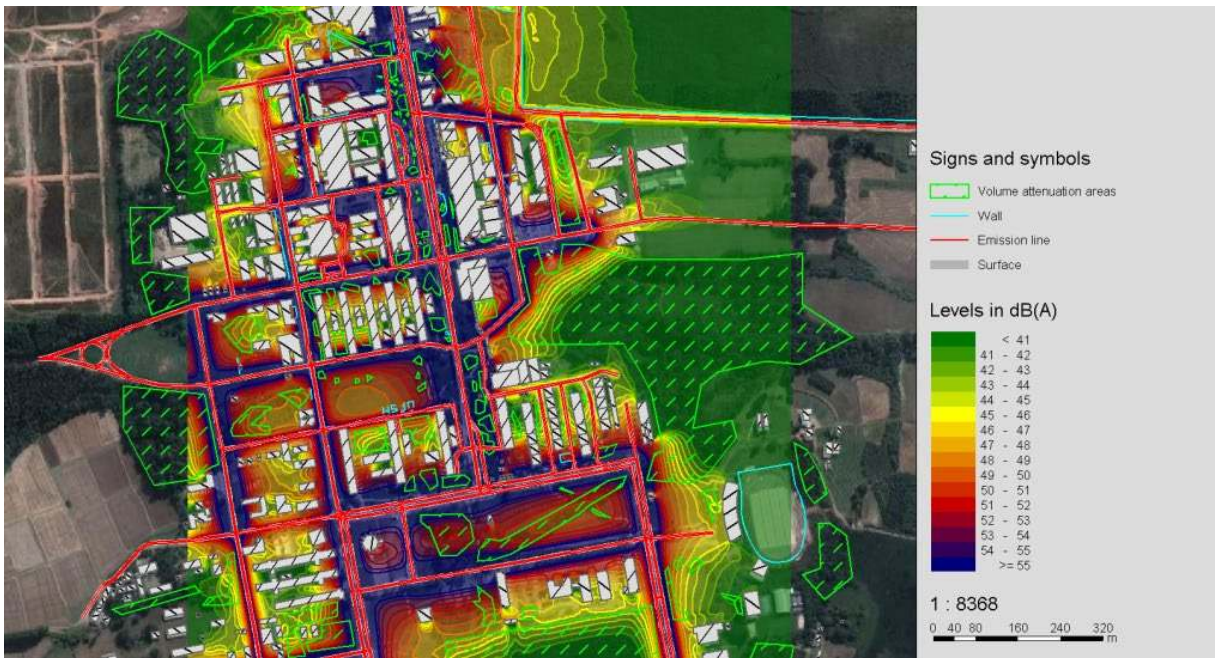
| Pontos receptores | $L_{Aeq}$ (dB) Medições | $L_{Aeq}$ (dB) Simulações | Pontos receptores | $L_{Aeq}$ (dB) Medições | $L_{Aeq}$ (dB) Simulações |
|---|---|---|---|---|---|
| NP1 | 72 | 72 | NP17 | 60 | 60 |
| NP2 | 72 | 72 | NP18 | 62 | 62 |
| NP3 | 59 | 59 | NP19 | 66 | 66 |
| NP4 | 61 | 61 | NP20 | 54 | 54 |
| NP5 | 52 | 52 | NP21 | 52 | 52 |
| NP6 | 71 | 71 | NP22 | 65 | 65 |
| NP7 | 56 | 56 | NP23 | 67 | 67 |
| NP8 | 59 | 59 | NP24 | 66 | 66 |
| NP9 | 60 | 60 | NP25 | 59 | 59 |
| NP10 | 65 | 65 | NP26 | 62 | 62 |
| NP11 | 61 | 61 | NP27 | 64 | 64 |
| NP12 | 63 | 63 | NP28 | 58 | 58 |
| NP13 | 68 | 68 | NP29 | 58 | 58 |
| NP14 | 50 | 50 | NP30 | 62 | 62 |
| NP15 | 49 | 49 | NP31 | 56 | 56 |
| NP16 | 60 | 60 | NP32 | 62 | 62 |

Fonte: Autores (2024).

A análise do mapa de ruído indicou que os níveis mais elevados de pressão sonora são provenientes das vias de tráfego rodoviário. Assim, as edificações situadas próximas às rodovias apresentam uma maior exposição ao ruído, sendo importante a realização de estudos prévios para a implementação de projetos de isolamento acústico para fachadas situadas em regiões com maior fluxo de veículos. Caso essas medidas não sejam adotadas, é provável que os ambientes internos a essas edificações não atendam aos critérios de conforto acústico, sendo necessária uma avaliação interna para confirmação.

É identificado, também, que o nível de pressão sonora tende a reduzir à medida que se afasta da rodovia, devido a fatores como absorção do ar, tipo de solo, vegetação e barreiras acústicas formadas por taludes, muros e prédios. No entanto, ao longo das vias avaliadas, o Campus não possui extensas áreas de vegetação, e as existentes não são densas o suficiente para proporcionar uma atenuação significativa do som.

**Figura 3: Mapa de ruído completo e atualizado.**



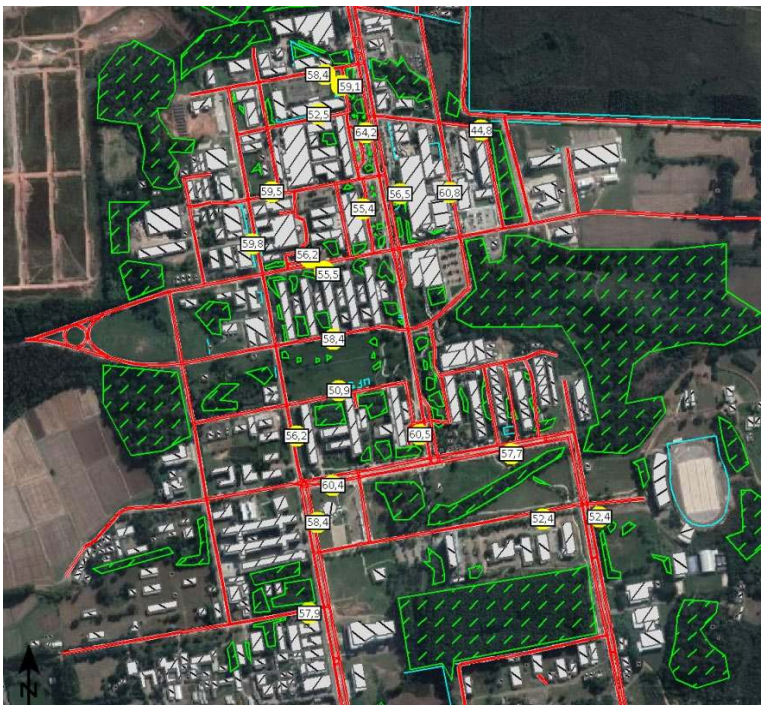

Fonte: Autores (2024).

### 3.1 Comparação dos resultados das simulações ao longo do tempo (2013 e 2024)

Em 2013, as medições foram conduzidas conforme a ISO 1996:2003, que recomendava a altura de medição de quatro metros em relação ao solo. Entretanto, testes demonstraram que a diferença entre medições realizadas a 1,2 m, 1,5 m e 4 m foi mínima. Embora medições a 4 m reduzam os efeitos de sombras acústicas causadas por obstáculos como veículos estacionados, quando o medidor está relativamente próximo da via (até 6 m de distância), a variação no nível de pressão sonora equivalente entre essas alturas não ultrapassa 1 dB (Neto, 2013). Considerando-se as condições dos equipamentos disponíveis na universidade e a necessidade de otimização do tempo de medição, o trabalho de Neto (2015) adotou a altura de 1,2 m, conforme a NBR 10151 (ABNT, 2019).

As medições e simulações realizadas em 2013 utilizaram o método de contagem de veículos para estimar os níveis de pressão sonora. Para permitir uma comparação direta entre os resultados de 2013 e 2024, os vinte e dois pontos de medição definidos por Neto (2013), apresentados na Tabela 2 por número de medição para 10 áreas (Med1_A1 a Med1_A10), foram inseridos exatamente nas mesmas coordenadas na nova simulação, sendo analisados e comparados com os valores atuais, conforme demonstrado na Figura 4 e na Tabela 2.

**Figura 4: Pontos de medição definidos em 2013 com níveis mais atuais de emissão sonora (2024).**




Fonte: Autores (2024).

**Tabela 2: Comparação das medições e simulações de 2013 com as de 2024.**

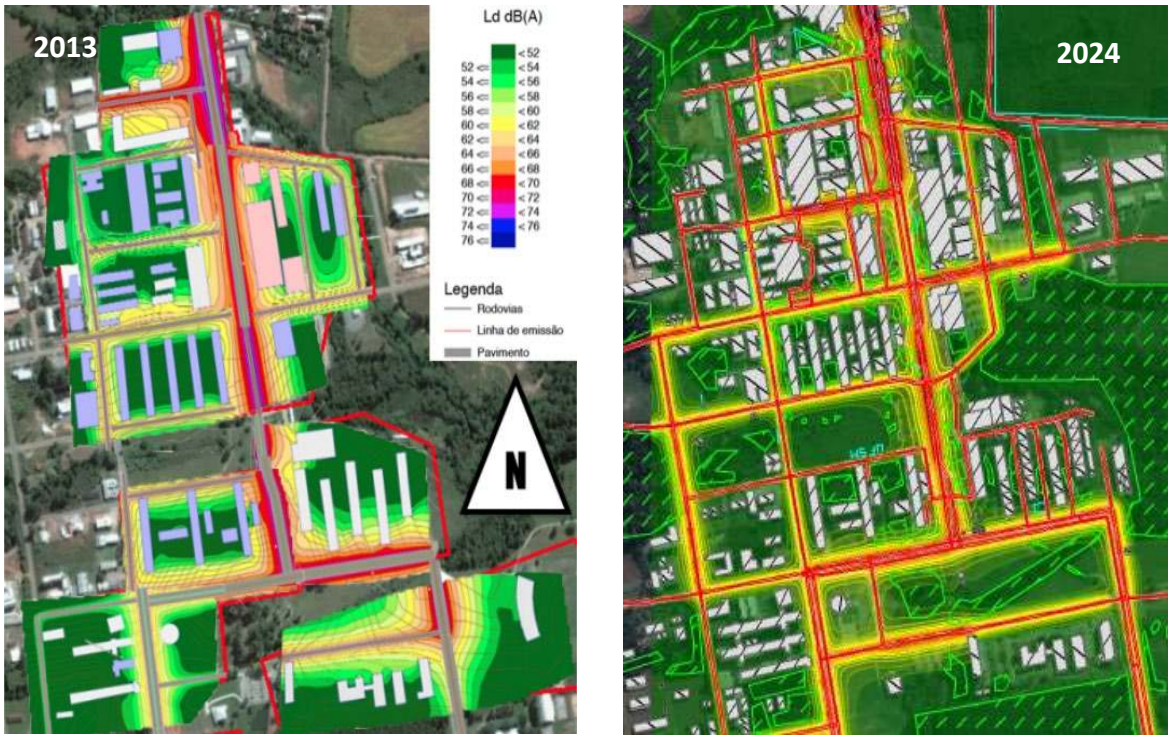
| Pontos recepção | $L_{Aeq}$ (dB) Medição (2013) | $L_{Aeq}$ (dB) Simulação (2013) | $L_{Aeq}$ (dB) Simulação (2024) | Pontos recepção | $L_{Aeq}$ (dB) Medição (2013) | $L_{Aeq}$ (dB) Simulação (2013) | $L_{Aeq}$ (dB) Simulação (2024) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Med1_A1 | 62 | 57 | 59 | Med1_A5 | 61 | 60 | 56 |
| Med2_A1 | 68 | 69 | 58 | Med2_A5 | 60 | 58 | 58 |
| Med1_A2 | 54 | 58 | 45 | Med1_A6 | 67 | 66 | 58 |
| Med2_A2 | 57 | 59 | 61 | Med2_A6 | 69 | 65 | 61 |
| Med3_A2 | 68 | 68 | 57 | Med1_A7 | 70 | 65 | 51 |
| Med1_A3 | 55 | 53 | 53 | Med2_A7 | 61 | 56 | 56 |
| Med2_A3 | 71 | 70 | 64 | Med1_A8 | 62 | 59 | 60 |
| Med1_A4 | 57 | 63 | 55 | Med2_A8 | 59 | 64 | 58 |
| Med2_A4 | 69 | 65 | 56 | Med1_A9 | 60 | 53 | 52 |
| Med3_A4 | 59 | 62 | 60 | Med2_A9 | 64 | 55 | 52 |
| Med4_A4 | 58 | 59 | 60 | Med1_A10 | 56 | 57 | 58 |

Fonte: Autores (2024).

O mapa de pontos isolados foi gerado a partir das emissões sonoras das ruas obtidas pelas medições de 2024. Os pontos das medições de 2013 não foram reavaliados apenas no seu

lugar original, mas sim incorporados à simulação com base nos 32 pontos de monitoramento de 2024. Para uma comparação mais eficaz, entre o mapa de ruído de 2013 e o atual, a versão de 2024 foi gerada utilizando a mesma escala de cores, conforme a Figura 5.

**Figura 5: Comparação das simulações ao longo do tempo (2013 e 2024).**




Fonte: Neto (2013) e Autores (2024).

A análise comparativa entre os dois mapas, com medições realizadas nos mesmos horários e dias da semana, demonstrou um aumento significativo nos níveis de ruído em determinadas áreas do *campus*, especialmente nas proximidades das principais vias de circulação. Em algumas regiões, os valores medidos ultrapassaram os limites estabelecidos pela NBR 10151 (ABNT, 2019) para áreas escolares e hospitalares, indicando a intensificação do tráfego veicular e a expansão das atividades acadêmicas, como novos acessos e construção de edificações destinadas a oficinas e laboratórios, como principais fatores desse aumento. A atualização do mapa acústico da universidade permitiu avaliar a evolução da poluição sonora no *campus* e servirá como base para futuras políticas de planejamento urbano e mitigação de ruído, auxiliando no planejamento de estratégias para controle sonoro e conforto acústico na instituição.

## 4. Considerações finais

A presente pesquisa teve como objetivo a elaboração e atualização do mapa acústico do *campus* sede da Universidade Federal de Santa Maria, utilizando um método de aferição de valores calibrado por medições *in situ* e simulações computacionais. Os resultados indicaram que a metodologia adotada permitiu uma representação mais precisa da distribuição do ruído na cidade universitária, garantindo maior aderência dos modelos simulados aos valores medidos em campo.

A análise dos mapas de ruído também revelou que as áreas com maior exposição sonora estão próximas às principais vias de tráfego, com níveis que, em alguns pontos, ultrapassam os limites estabelecidos pela NBR 10151 (ABNT, 2019), chegando a 22 dB acima do permitido, para áreas escolares e hospitalares. A ausência de barreiras naturais significativas e a densidade construtiva do *campus* contribuem para a propagação do ruído, reforçando a necessidade de medidas de controle sonoro para mitigar seus impactos na comunidade acadêmica. Ao comparar os valores mais recentes com os dados de 2013, evidenciou um aumento expressivo nos níveis de pressão sonora ao longo dos anos, indicando que a intensificação do tráfego veicular oriundo da ampliação das atividades acadêmicas foram fatores determinantes para essa elevação dos níveis de ruído. A atualização do mapa acústico possibilitou uma visão mais abrangente da evolução da poluição sonora na universidade, servindo como base para a implementação de estratégias de mitigação.

Estudos futuros podem aprofundar a investigação sobre os impactos do ruído em ambientes internos das edificações acadêmicas, especialmente em salas de aula e ambientes de estudo. Por fim, este estudo reforça a importância do planejamento urbano adequado a partir do monitoramento contínuo da qualidade acústica do ambiente universitário, contribuindo para a promoção de um *campus* universitário mais propício às atividades de ensino, pesquisa e extensão, bem como para o bem-estar da comunidade acadêmica.

## Referências

Aumond, P., Can, A.; Mallet, V., De Coensel, B., Ribeiro, C., Botteldooren, D., & Lavandier, C. (2018). Kriging-based spatial interpolation from measurements for sound level mapping in urban areas. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 143 5, 2847. https://doi.org/10.1121/1.5034799.

Cho, D., Kim, J., & Manvell, D. (2007). Noise mapping using measured noise and GPS data. *Applied Acoustics*, 68, 1054-1061. https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2006.04.015.

Kang, J., Aletta, F., Margaritis, E., & Yang, M. (2018). A model for implementing soundscape maps in smart cities. *Noise Mapping*, 5, 46 - 59. https://doi.org/10.1515/noise-2018-0004.

Mascolo, A., Rossi, D., Grimaldi, M., & Guarnaccia, C. (2024). Soundscape maps of pleasantness in a university campus by crowd-sourced measurements interpolation. *Noise Mapping*, 11. https://doi.org/10.1515/noise-2022-0178.

Mascolo, A., Rossi, D., Grimaldi, M., & Guarnaccia, C. (2022). Soundscape Indicators Assessment and Mapping in a University Campus. *Proceedings of the 10th Convention of the European Acoustics Association Forum Acusticum 2023*. https://doi.org/10.61782/fa.2023.0511.

McCafferty, C. (2021). Distributing Authorship at a Localised Scale: Developing public engagement in sound mapping. *Organised Sound*, 26, 255 – 264. https://doi.org/10.1017/S1355771821000297.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151:** Acústica – Medição de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STARNDARDIZATION. **ISO 1996–2:** Acoustics – description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of environmental noise levels. Genebra, 2007.

Neto, Olmiro Cezimbra de Souza. **Mapeamento acústico do ruído rodoviário na Universidade Federal de Santa Maria-RS**. 2015. 83 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Curso de Engenharia Acústica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

Pereira, Diego Rafael Vaz. **Mapeamento sonoro do *campus* sede da Universidade Federal de Santa Maria por método de aferição**. 2024. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Curso de Graduação em Engenharia Acústica, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2024.