



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Estudo de viabilidade para a utilização de ônibus elétrico no sistema de transporte público em Belo Horizonte, MG – Análise de desempenho acústico

Almeida, C.G.¹; Silva, J. G.¹; Andrade, L. H. M.¹; Dias, L. S.¹; Mota, L. C. C.¹; Leite, E. D.;

Cavalcante, K. V. S. M.¹; Marques, H. F. M.²

¹ dB Laboratório de Engenharia Acústica, Belo Horizonte, MG, Brasil, {carolina,junior,luishenrique,lucas,lorena,erton,krisdany}@dbacustica.com.br

² Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Belo Horizonte, Belo Horizonte, MG, Brasil, hmarques@pbh.gov.br

Resumo

Como ação para redução das emissões sonoras e atmosféricas e, em atendimento a agenda 2030 da ONU, a prefeitura de Belo Horizonte – MG realizou testes de viabilidade para a adoção de ônibus com motores elétricos em substituição gradativa da frota do sistema de transporte público municipal, atualmente composta exclusivamente por ônibus com motores à combustão. Os trabalhos consistiram na execução de ensaios acústicos externos e internos ao veículo elétrico, em teste no município. Os ensaios internos foram realizados simultaneamente com até quatro microfones, distribuídos nas posições do motorista, cobrador e passageiros, durante o trajeto do ônibus. Os ensaios externos consistiram na medição e comparação dos níveis sonoros medidos em via plana, aclive e declive, durante a passagem do ônibus elétrico e de três diferentes ônibus, com motores a diesel, que integram a frota municipal. Este trabalho é resultado da colaboração voluntária entre o dB Laboratório de Acústica e a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA).

Palavras-chave: ônibus elétrico, ruído urbano, ensaio acústico, Belo Horizonte.

Abstract

As an action to reduce noise and atmospheric emissions, in compliance with the UN's 2030 agenda, the city hall of Belo Horizonte - MG carried out feasibility tests for the adoption of buses with electric motors as a gradual replacement for the fleet of the municipal public transport system, currently composed exclusively of buses with combustion engines. The work consisted of carrying out external and internal acoustic tests on the electric vehicle, being tested in the city. The internal tests were executed simultaneously with four microphones, distributed in the positions of the driver and passengers, during the journey of the bus. The external tests consisted of measuring and comparing the sound levels measured on a flat road, uphill and downhill, during the passage of the electric bus and three different buses, with diesel engines, belonging to the municipal fleet. This work is the result of a voluntary collaboration between the dB Laboratory of Acoustics and the Municipal Environment Department (SMMA).

Keywords: buses, electric vehicle, urban noise, acoustic test, Belo Horizonte.



1. INTRODUÇÃO

A poluição sonora ambiental é considerada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como a segunda maior causa de prejuízo à saúde das pessoas que habitam centros urbanos^[1]. Atualmente, os veículos a diesel são as principais fontes de ruído de tráfego urbano em Belo Horizonte^[2].

Com o objetivo de reduzir as emissões sonoras e atmosféricas, o município tem realizado estudos técnicos para a adoção de ônibus com motores elétricos em substituição gradativa dos ônibus com motores à combustão.

Para a análise do desempenho acústico, avaliou-se os níveis de pressão sonora decorrentes da passagem dos veículos, bem como no seu interior, comparando o ônibus elétrico com diferentes modelos de ônibus à diesel, que atualmente operam em Belo Horizonte.

Este artigo apresenta os resultados da análise de viabilidade da utilização de ônibus elétrico no sistema de transporte público do Município de Belo Horizonte, a fim de realizar o controle e a redução da poluição sonora e de emissões atmosféricas, atendendo à Agenda 2030 da ONU.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O nível de pressão sonora é a grandeza acústica determinante da sensação sonora humana^[3]. O nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A e integrado em um intervalo de tempo T , de acordo com a norma ABNT NBR 16313^[4], é expresso como $L_{Aeq,T}$, em dB.

Os níveis de pressão sonora específicos ($L_{Aeq,T,específicos}$), objeto desta avaliação, estão associados aos ruídos gerados durante a passagem dos veículos de transporte coletivo em teste, pelos microfones de medição.

Os níveis de pressão sonora residuais ($L_{Aeq,T,residual}$), também conhecidos como ruído de fundo, identificados durante as medições, estão associados aos ruídos de tráfego urbano, vozes de pessoas e animais nas imediações, e outros ruídos oriundos das residências próximas aos locais dos ensaios.

Os níveis de pressão sonora totais ($L_{Aeq,T,total}$) correspondem ao conjunto das contribuições sonoras residuais e específicas.

Para a avaliação sonora externa aos ônibus adotou-se como referência a norma ABNT NBR 15145:2004 – “Acústica – Medição do ruído emitido por veículos rodoviários automotores em aceleração – Método de Engenharia”.

A norma da ABNT prescreve requisitos para este tipo de ensaio e avaliação, sendo normalmente empregada pelos fabricantes de veículos automotores para caracterização das emissões dos seus modelos de veículos.

3. DESENVOLVIMENTO

Por se tratar de um teste em condição real de uso em vias públicas, não foi possível assegurar pleno atendimento aos requisitos da ABNT NBR 15145:2004. Além disso, Belo Horizonte apresenta uma condição de relevo, na maioria das vias, em auge e declive, enquanto a norma propõe o teste apenas em via plana.

3.1 Metodologia para avaliação sonora do ônibus em aceleração

Os ônibus foram operados, em locais previamente demarcados para os ensaios, por motoristas que atuam no sistema de transporte público municipal, assegurando a mesma condição de teste para os diferentes modelos.

As medições dos níveis de pressão sonora foram realizadas para as condições de via plana, auge e declive, durante a passagem dos ônibus, pelo local do ensaio. Foram avaliados um modelo de ônibus elétrico e três modelos de ônibus com motores à diesel, dos fabricantes Mercedes-Benz, Volkswagen e Volvo, integrantes da frota de Belo Horizonte.

Nas medições, dois sonômetros de Classe 1 foram instalados, um em cada lateral da via, ao centro da área demarcada por dois eixos perpendiculares ao eixo longitudinal da via. Cada um dos veículos se deslocou sobre o eixo longitudinal demarcado.

Na via plana, os veículos trafegaram em velocidade constante de 50 km/h até atingir o

primeiro eixo perpendicular, a partir do qual o condutor procedeu máxima aceleração até a traseira do veículo ultrapassar o segundo eixo perpendicular imaginário.

No aclave, os veículos foram estacionados em frente ao primeiro eixo perpendicular e o condutor procedeu a arrancada, mantendo aceleração e troca de marchas necessárias até o veículo ultrapassar completamente o segundo eixo imaginário.

Na via em declive os condutores operaram os freios e o câmbio de modo a assegurar a velocidade constante de 50 km/h, freando completamente o veículo após a passagem pelo primeiro eixo perpendicular e parando completamente o veículo no segundo eixo perpendicular.

Apesar de não especificadas na norma da ABNT, trata-se de adaptações técnicas necessárias e comuns ao relevo dessa capital, que geram situações semelhantes de emissões sonoras em pontos de ônibus e cruzamentos de vias.

A Figura 1 ilustra a condição de ensaio nas condições de aclave e declive. Os pontos PE-04 ao PE-07 indicam a posição dos microfones de medição. Os pontos A e B indicam os eixos perpendiculares aos eixos longitudinais. Cada ensaio no declive foi sucessivo ao ensaio no aclave, onde cada veículo percorreu pelo menos 4 vezes o circuito.



Figura 1 : Condição de ensaio em aclave e declive
(Fonte: Google Earth)

3.2 Metodologia para avaliação do ruído interno

As medições dos níveis de pressão sonora no interior dos veículos de transporte coletivo foram realizadas durante um mesmo trajeto, assegurando condições semelhantes entre os veículos elétrico e à diesel.

Nesse ensaio foram instalados quatro microfones no interior do veículo:

- PI-01: próximo ao condutor;
- PI-02: próximo ao cobrador;
- PI-03: na região central do ônibus, na área destinada a cadeirantes;
- PI-04: ao fundo do ônibus.

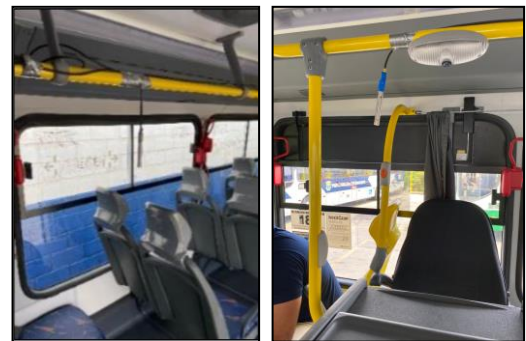


Figura 2 : Instalação dos microfones no interior do ônibus elétrico

3.3 Condições Meteorológicas

Durante os ensaios de passagem as condições meteorológicas foram monitoradas com um sensor meteorológico modelo Vaisala WXT-536, posicionada adjacente à área do ensaio, em uma altura representativa do local, conforme especifica a ABNT NBR 15145.

Não houve ocorrência de condições ambientais e meteorológicas em desacordo com as especificações de operação dos instrumentos de medição ou impeditivas à realização das medições de níveis de pressão sonora.



3.4 Simulação da exposição sonora na região central de Belo Horizonte, a partir da modificação da frota

Com a finalidade de caracterizar e avaliar os níveis sonoros na região central de Belo Horizonte, foi realizada uma simulação acústica com o uso *software* Predictor/LimA, versão 2021.

A modelagem e os parâmetros de cálculo utilizados foram os mesmos empregados em estudo prévio na região central de Belo Horizonte – MG, que retratou, por medições em campo e modelagem no mesmo *software*, as condições do mapa acústico urbano.^[2]

As modificações apresentadas neste artigo são relativas à alteração da potência da fonte durante a caracterização do tráfego de veículos no *software* de simulação. É importante destacar que o mapa acústico considerou uma frota de veículos totalmente a combustão para retratar o cenário atual e uma frota totalmente elétrica, para retratar um hipotético cenário futuro.

Inicialmente foi feita a comparação entre os resultados acústicos do ônibus elétrico e dos ônibus a combustão. Em seguida, a potência sonora da fonte, no *software* de simulação, foi alterada de forma proporcional aos resultados acústicos obtidos em campo.

4. RESULTADOS

De acordo com a ABNT NBR 15145:2004, o ruído de fundo ponderado pela curva A, durante as medições, deve ser 15 dB abaixo das emissões produzidas pelo veículo ensaiado. Essa diferença requerida garante que não ocorra influência das fontes de ruído residuais na determinação dos níveis de pressão sonora específicos, decorrentes da passagem do veículo.

4.1 Resultados da avaliação ambiental

O resultado, em decibel, para a condição de via plana, corresponde ao cálculo determinado na norma da ABNT e está apresentado na Tabela 1, para a condição de uso dos veículos com ar-condicionado desligado. Este cálculo se baseia na média logarítmica dos níveis máximos

ponderados em A (L_{AFmax}) registrados durante as quatro passagens do veículo pelo local de ensaio.

Para as condições de aclave e declive, o $L_{Aeq,T}$, em dB, foi calculado considerando o intervalo tomado no instante em que o L_{AFmax} supera em 5 dB o nível sonoro residual.

Tabela 1: Síntese dos resultados da avaliação ambiental com ar-condicionado desligado

Condição da via (Descritor sonoro)	Avaliação sonora ambiental			
	Nível sonoro (dB)			
	Mercedes-Benz	Volkswagen	Volvo	Elétrico
Plano (L_{AFmax})	79,7	76,4	80,9	71,4
Aclive (L_{Aeq})	76,1	74,6	73,4	64,0
Declive (L_{Aeq})	66,7	68,9	69,0	62,8

Analizados os resultados apresentados na Tabela 1, se verifica que:

i. na via plana, o ônibus elétrico apresentou nível sonoro ambiental inferior aos veículos a diesel, proporcionando um ganho entre 5 dB e 9 dB, a depender dos modelos. Porém, ao repetir o ensaio com ar-condicionado ligado, o resultado de L_{FAmax} subiu de 71,4 dB para 78,5 dB. Nesta condição, a percepção sonora no ponto de observação esteve associada principalmente ao ruído do sistema de ar-condicionado e secundariamente ao ruído de atrito dos pneus com o piso de asfalto. Nos veículos à diesel os ruídos de aceleração do motor e de escapamento se destacaram dos demais.

ii. na via em aclave, o veículo elétrico apresentou menores níveis sonoros da ordem de 10 dB a menos que os veículos à diesel, considerando o ar-condicionado desligado. Essa condição se explica pelo fato de, na partida em rampa, haverá maior demanda de potência ao motor elétrico.

iii. na via em declive, o veículo elétrico também apresentou nível sonoro inferior ao dos veículos a diesel, variando de 3 dB a 6 dB quando comparado aos veículos com motor à diesel,

Além do veículo elétrico ter sido identificado como menos ruidoso em comparação aos veículos a diesel, em todas as situações, a passagem dele pelo percurso, ocorreu de forma mais rápida no trecho de aclave, reduzindo o tempo de exposição sonora ambiental das pessoas que se encontrarem nas calçadas e pontos de ônibus.

4.2 Resultados da avaliação interna

A síntese dos resultados das medições internas nos ônibus elétricos é apresentada na Tabela 2:

Tabela 2: Síntese dos resultados das medições no interior dos ônibus

Ponto de medição	Veículo elétrico $L_{Aeq,T}$ (dB)		Veículo a diesel $L_{Aeq,T}$ (dB)
	Ar ligado	Ar desligado	Ar desligado
PI-01	71,2	68,1	79,2
PI-02	69,1	64,7	73,9
PI-03	69,7	66,7	74,1
PI-04	70,4	66,6	71,7

A diferença entre os níveis sonoros medidos no interior dos ônibus elétrico e a diesel, com o ar-condicionado desligado, variou entre 5 dB e 11 dB. Os resultados demonstram que a maior variação dos níveis sonoros foi o ponto instalado próximo ao motorista. A menor diferença identificada foi no ponto localizado no fundo do ônibus. Estas variações eram esperadas, uma vez que o motor à diesel se encontrava na posição do motorista.

No veículo elétrico, considerando as condições de o ar-condicionado ligado e desligado, houve uma variação de 3,1 dB próximo ao motorista, 4,4 dB próximo ao cobrador, 3,0 dB na posição do passageiro cadeirante e 3,8 dB no fundo do ônibus. Estas diferenças caracterizam como significativa a contribuição sonora do sistema de ar-condicionado.

A Tabela 3 apresenta a síntese dos resultados das medições internas realizadas nas áreas de acesso às portas do ônibus.

Tabela 3: Síntese dos resultados das medições internas próximas às portas do ônibus

Ponto de medição	Veículo elétrico $L_{Aeq,T}$ (dB)		Veículo a diesel $L_{Aeq,T}$ (dB)
	Ar ligado	Ar desligado	Ar desligado
Porta Frontal	80,9	66,3	80,1
Porta Traseira	80,9	72,8	69,6

No interior do ônibus elétrico a expectativa era de que os níveis sonoros registrados fossem inferiores aos no interior do ônibus a diesel.

Todavia, a partir da avaliação dos resultados dos níveis sonoros, próximo às portas de embarque/desembarque, observou-se que os ruídos estavam predominantemente associados ao sistema de cortinas de ar, necessárias ao equilíbrio térmico durante a abertura das portas.

Identificou-se que o ar-condicionado, ao centro do ônibus, e as cortinas de ar, acima das portas, contribuem significativamente para o ruído interno, bem como o ruído do tráfego externo, que também é percebido no interior dos ônibus, principalmente quando do seu uso com as janelas abertas e ar-condicionado desligado.

4.3 Resultados das simulações do ruído urbano atual e futuro

Em 2021, foi construído o mapa acústico decorrente do ruído de tráfego urbano em uma seção da região central de Belo Horizonte^[2], cujos resultados estão apresentados na Figura 3. Este mapa considerou a condição atual de circulação de veículos com motores a combustão.

De posse dos resultados dos ensaios acústicos com o ônibus elétrico, construiu-se o mapa acústico da região central de Belo Horizonte, para um cenário futuro de substituição da frota à diesel por veículos elétricos. Os resultados são apresentados na Figura 4.

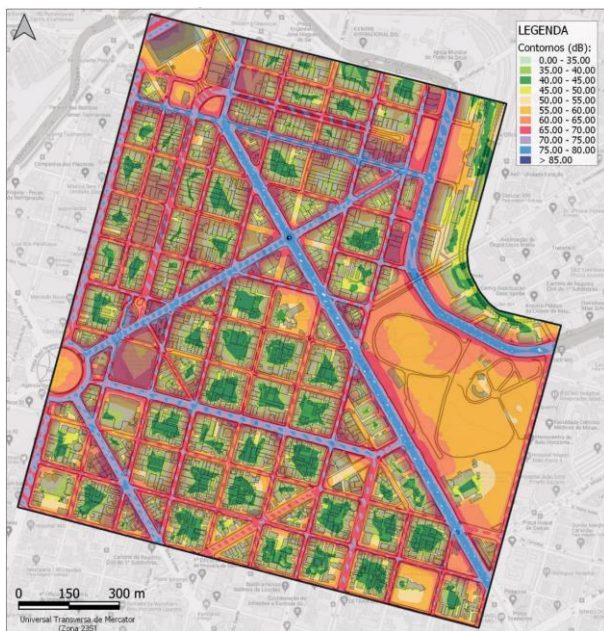


Figura 3: Ruído urbano com veículos à diesel

Fonte: Mota, L. C. C. [2]

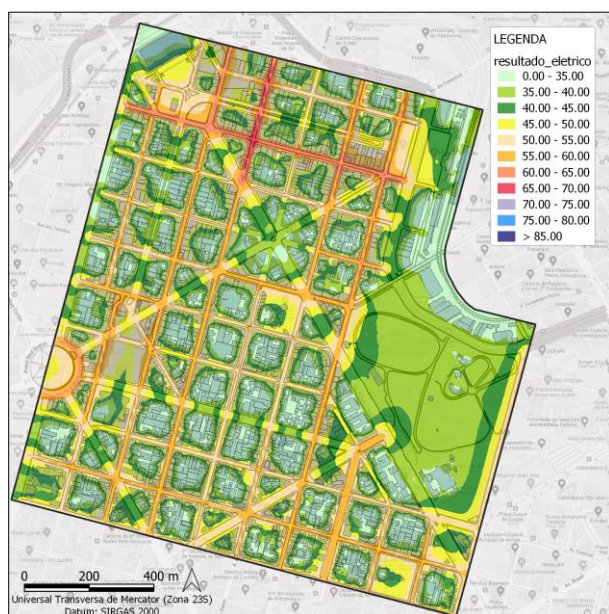


Figura 4: Ruído urbano com veículos elétricos

Fonte: autores

Ao comparar a Figura 4 com o cenário apresentado no estudo de Mota (2021), observa-se uma redução significativa dos níveis sonoros urbanos, principalmente nos grandes corredores viários, onde circula um maior número de veículos.

5. CONCLUSÕES

Acusticamente, se observa vantajoso o uso de ônibus elétrico em substituição aos ônibus à diesel. Porém, há necessidade de melhoria para redução dos ruídos do ar-condicionado e das cortinas de ar, assegurando uma maior proteção à saúde dos ocupantes dos ônibus e à população urbana de Belo Horizonte.

Há uma grande diferença de percepção, nas calçadas, entre os ruídos dos ônibus à diesel e elétrico. Esta diferença de percepção é ainda maior para a condição de arrancada em aclave, e menor para a condição de frenagem em declive.

Outra vantagem está no fato de que o ônibus elétrico apresentou o menor tempo de passagem entre os eixos definidos, durante a arrancada em aclave, reduzindo assim o tempo de exposição sonora das pessoas que estão nas calçadas e pontos de ônibus durante essa manobra.

Para a situação de frenagem em declive foi também perceptível um menor ruído de pastilhas de freio do ônibus elétrico. A redução deste ruído, devido às suas características tonais, que causam maior incômodo sonoro, também apresenta vantagem a favor do ônibus elétrico.

Internamente, os níveis sonoros são menores no ônibus elétrico, para as posições de motorista e cobrador, que estão à frente do ônibus, bem como para os passageiros em qualquer posição.

Assim, o ônibus elétrico traz maior conforto e proteção à saúde de seus ocupantes. Porém, os ruídos da cortina de vento, existentes junto às portas, e do sistema de ar-condicionado, ao centro do ônibus, se mostraram igualmente ruidosos nos dois tipos de motorização, cabendo recomendar ações para redução do ruído desses dois equipamentos, principalmente para o seu uso no ônibus elétrico.

A análise do mapa acústico mostra uma modificação brusca nas cores, o que significa que a implantação de mais veículos elétricos na cidade, trará benefícios na qualidade de vida e na saúde da população.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à equipe e aos colaboradores deste projeto, em especial ao dB Laboratório de Acústica, aos servidores da BHTrans – Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte, da Viação Torres e da Secretaria Municipal de Meio Ambiente.

REFERÊNCIAS

[1] World Health Organization – WHO. Environmental Health Criteria 12 – Noise. ISBN 92 4 154072 9, Geneva, 1980. Disponível em: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/>. Acesso em: 10/6/2022.

[2] Mota, Lorena Cachuit Cardoso. Níveis de pressão sonora na área central de Belo Horizonte, MG. Dissertação de mestrado, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2021. Disponível em: <https://sig.cefetmg.br/sigaa/verArquivo?idArquivo=3775567&key=3db1d2af93cdaf29a21143fce5f9b471>

[3] BISTAFA, Sylvio R. Acústica aplicada ao controle do ruído. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

[4] Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 16313:2014, Acústica — Terminologia.

[5] Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 15145:2004, Acústica – Medição do ruído emitido por veículos rodoviários automotores em aceleração – Método de Engenharia.