



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Desenvolvimento de um sistema de monitoramento de níveis de pressão sonora baseado em PC/DAQ NI USB-9234 para o monitoramento sonoro na região da Pampulha em Belo Horizonte – MG

Silva, J. G.¹; Cavalcante, K. V. S. M.¹; Rezende, V. M.¹; Andrade, L. H. M.¹; Mota, L. C. C.¹; Almeida, C. G.¹; Dias, L. S.¹; Marques, H. F. M.²

¹ dB Laboratório de Engenharia Acústica, Belo Horizonte, MG, Brasil, [fjunior, krisdany, vanessa, luishenrique, lorena, carolina, lucas}@dbacustica.com.br](mailto:{junior, krisdany, vanessa, luishenrique, lorena, carolina, lucas}@dbacustica.com.br)

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

Resumo

Este artigo apresenta resultados do desenvolvimento de um sistema de monitoramento de níveis de pressão sonora, a ser aplicado na região do Conjunto Moderno da Pampulha, em Belo Horizonte – MG. Esta região teve seu tombamento pela UNESCO, como patrimônio cultural da humanidade, em 2016. Os estudos compreenderam o desenvolvimento de um sistema de medições de níveis de pressão sonora, para aplicação em atendimento ao método de monitoramento da ABNT NBR 10151:2019. Programado em linguagem *LabVIEW*, para PC/Windows, o sistema utiliza como hardware uma placa de aquisição e conversão analógico/digital modelo NI USB-9234. Esse artigo apresenta os estudos para o desenvolvimento do sistema de monitoramento e os resultados dos testes eletroacústicos, obtidos em bancada. Este trabalho de pesquisa foi financiado com recursos do Fundo Municipal de Defesa Ambiental – FMDA, através do chamamento público FMDA/BH nº 01/2018.

Palavras-chave: eletroacústica, *LabVIEW*, método de monitoramento, processamento de sinais, ruído ambiental.

PACS: 43.60.-c, 43.50.Rq, 43.50.Yw.

Abstract

This article presents the results of the development of a system for monitoring sound pressure levels, to be applied in the region of the Pampulha Modern Ensemble, in Belo Horizonte – MG, Brazil. This region was declared by UNESCO in 2016 at World Heritage List. The studies comprised the development of a sound pressure level measurement system, for application in compliance with the monitoring method of ABNT NBR 10151:2019. Programmed in *LabVIEW* language, for PC/Windows, the system uses as hardware an analog/digital acquisition and conversion board, model NI USB 9234. This research work was financed with resources from the Municipal Environmental Defense Fund - FMDA, through the public call FMDA/BH nº 01/2018.

Keywords: electroacoustics, *LabVIEW*, monitoring method, signal processing, environmental noise.



1. INTRODUÇÃO

Dentre os problemas enfrentados pela população urbana, a poluição sonora está entre os mais debatidos pelos diversos âmbitos da sociedade, incluindo o meio técnico científico [1]. Níveis de pressão sonora elevados ocorrem nas capitais e em grandes centros urbanos, onde há uma intensa conurbação, fluxo intenso de veículos, concentração de empreendimentos e eventos de grande porte [2]. Portanto, a depender da região urbana em análise, os níveis de pressão sonora podem variar significativamente ao longo do dia e ao longo da semana, em função do desenvolvimento de cada local e do fluxo viário.

O Conjunto Moderno da Pampulha, em Belo Horizonte, é formado pelos edifícios e jardins do cassino (atual Museu de Arte da Pampulha), da Casa do Baile (atual Centro de Referência em Urbanismo, Arquitetura e Design), do Iate Golfe Clube (atual Iate Tênis Clube), da Igreja de São Francisco de Assis (“Igrejinha da Pampulha”), da Residência de Juscelino Kubitschek (“Casa JK”), situados ao longo da orla da lagoa e de seu espelho d’água. Em 2016, durante a 40ª Reunião do Comitê do Patrimônio Mundial da Unesco, o conjunto recebeu o título de Patrimônio Mundial.

Além dos locais citados, a região da Pampulha abriga grande quantidade de empreendimentos comerciais e turísticos que trazem ao local uma característica de intensa movimentação de pessoas. Exemplos são o Estádio Governador Magalhães Pinto (Estádio do Mineirão), o estádio Jornalista Felipe Drummond (ginásio do Mineirinho), o Centro de Atividades Esportivas da UFMG (CEU) e o próprio campus da Universidade Federal de Minas Gerais e eventos de público elevado que vem sendo realizados em áreas públicas ao ar livre (esplanada do Mineirão). Em consequência disso, parte da população que reside nas proximidades e que sofre com o ruído, têm requerido ações do poder público municipal, já que essa intensa e frequente exposição pode causar severos danos à saúde [3].

Este documento relata o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de níveis de

pressão sonora, cujo método é previsto na ABNT NBR 10151:2019 [4] para uso em situações de planejamento urbano e monitoramento ambiental.

Devido aos altos custos na contratação e aquisição desses sistemas fornecidos por fabricantes multinacionais, esta pesquisa, inicialmente aplicada à região da Pampulha, por sua relevância turística e desportiva e por sua concentração de habitações residenciais, visa obter uma massa de dados crítica para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento sonoro, de menor custo, que possa ser adotado pelo município, proporcionando à população exposta ao ruído, a transparência e o conhecimento dos níveis sonoros em tempo real, 24 h por dia. Tais informações são relevantes à boa gestão ambiental do município e podem auxiliar na busca de alternativas para amenizar o problema e atender às reclamações dos munícipes.

O sistema de monitoramento consiste em uma estação a ser instalada em campo, composta por um microfone, com proteção contra chuvas e influência de ventos; um sensor meteorológico, para registro de precipitações, velocidade e direção dos ventos, temperatura e humidade relativa do ar; juntamente com uma placa de aquisição e conversão analógico-digital, adotada como interface entre o microfone/pré-amplificador e um minicomputador, responsável pelo processamento e envio dos resultados a um banco de dados, que os disponibiliza para visualização em tempo real.

Além da vantagem de o sistema alcançar um custo mais reduzido do que soluções comerciais já estabelecidas, utilizar um hardware genérico e o desenvolvimento das soluções de software proporcionam a possibilidade da personalização da solução, de acordo com a necessidade e os recursos tecnológicos disponíveis ao longo do tempo.

2. FUNDAMENTOS

Com o advento da internet das coisas (*internet of things* – *IoT*), surgiram diversas possibilidades de integração de redes de sensoramento e aquisição de dados, possibilitando também o avanço das *smart citys*.

Alías, Francesc e Rosa Ma realizaram, em 2019, um estudo de revisão dos principais trabalhos sobre redes de sensores de monitoramento de ruído, abordando a relevância do monitoramento contínuo para o desenvolvimento de cidades inteligentes [5].

Em 2018 foi desenvolvido em Nova York um projeto denominado SONYC que visava a construção e aplicação de sensores em diversos pontos da cidade de modo a reconhecer fontes de ruído em tempo real, utilizando-se de soluções de *big data* para integração das plataformas e obtenção de relatórios de forma simples e com alto grau de detalhamento [6].

Existem vários desafios a serem enfrentados para a distribuição de sistemas de monitoramento de ruído, um grande problema é o custo de implantação [7]. Se observa no Brasil que a maioria das cidades não têm os recursos necessários para adotar essas soluções. Assim, a pesquisa [7] foi uma iniciativa para superar as dificuldades encontradas na implantação massiva de sensores de ruído de baixo custo.

O *LabVIEW* é uma linguagem gráfica de programação desenvolvida pela empresa *National Instruments (NI)* utilizada para as mais variadas aplicações, dentre elas, a aquisição e o processamento de sinais dinâmicos. Em 2015, os pesquisadores Forouharmajd, Farhad, Zahra Mohammadi, Masoumeh Ahmadvand e Farshad [8] realizaram um estudo sobre a programação e desenvolvimento de sistemas de aquisição de sinais envolvendo medição de níveis de pressão sonora utilizando a linguagem de programação *LabVIEW* e os hardwares da NI. Como conclusão observaram que a linguagem, em conjunto com os hardwares, tem recursos completos para processamento e análise em amplitude e frequência, que podem integrar os sistemas de monitoramento de níveis sonoros, objetivo dessa pesquisa.

3. MATERIAL E MÉTODO

Para atendimento ao objetivo deste trabalho, a construção de um sistema de monitoramento de níveis de pressão sonora de menor custo de implantação e operação, mas que atenda aos requisitos da ABNT NBR 10151 (método de monitoramento) [4] e das normas IEC de

eletroacústica, optou-se pela adoção da arquitetura da *National Instruments*: programação em *LabVIEW* e uso do hardware NI USB-9234 para condicionamento e aquisição dos sinais do pré-amplificador/microfone e seu processamento em um computador de baixo custo. Esse sistema também permitiu a integração dos dados acústicos com os dados meteorológicos, também monitorados pela estação.

3.1 Microfone e pré-amplificador

Nesta pesquisa adotou-se como transdutores os modelos de microfone 4188 e 4189 e pré-amplificadores modelo 2671, do fabricante Brüel&Kjaer e pré-amplificador modelo 26CF da fabricante G.R.A.S. Esta opção se deu em função da disponibilidade desse material e por se tratarem de microfones capacitivos de campo livre, adotados pelo fabricante em sonômetros tradicionais de Classe 1, aprovados conforme IEC 61672 (Partes 1 e 2).

Para proteção contra chuvas e ventos, adotou-se o kit UA-1404, do mesmo fabricante e próprio para uso com ambos os microfones. Esse kit possui como acessórios grades de proteção diferentes para os microfones 4188 e 4189, para ângulos de incidência de 90° e de 0°.

3.2 Condicionamento e de conversão A/D

O pré-amplificador e microfones adotados requerem condicionamento de sinal CCLD/IEPE, pré-polarizado 0 V. O hardware NI USB-9234 é projetado para sinais analógicos provenientes de microfones e acelerômetros, dentre outros recursos.

Nesse tipo de aplicação, as faixas dinâmicas requeridas são bastante elevadas, de 20 dB a 140 dB em amplitude e de 20 Hz a 20 000 Hz em frequência, o que requer sensibilidade para níveis de tensão que variam significativamente, de microvolts a volts, A/C.

Para acoplamento da NI USB-9234 ao minicomputador foi utilizado o módulo NI USB-9171. Esse conjunto tem com as seguintes características principais: 4 canais de entradas analógicas; taxa de amostragem máxima de 51,2 kS/s; resolução de 24 bits; tensão de



entrada máxima ± 5 V; alimentação e conexão USB.

3.3 Sensor de monitoramento meteorológico

Para associar os parâmetros acústicos aos meteorológicos foi adotado um sensor de precisão que realiza a leitura de dados ambientais e faz a comunicação serial com o computador.

Foi escolhido o sensor WXT-536 da fabricante Vaisala, com os seguintes parâmetros: temperatura e humidade relativa do ar, pressão atmosférica, direção e velocidade do vento; precipitação e granizo.

3.4 PC Windows

Este equipamento roda um sistema operacional Windows e deve ter baixo consumo de energia, principalmente para aplicações remotas de monitoramento. Os testes foram realizados em três computadores com arquiteturas diferentes (processadores Intel Celeron, i5 e i7, com 4 GB e 8 GB de memória RAM), armazenamento SSD, todos respondendo positivamente.

3.5 Software

O software foi programado em *LabVIEW* utilizando recursos do toolkit *Sound and Vibration*. A linguagem que já contém drivers próprios para o hardware utilizado e uma série de funções nativas que permite a comunicação com equipamentos externos.

Para o processamento dos sinais de áudio e geração dos parâmetros acústicos a plataforma conta com um toolkit de som e vibração que agiliza o processo e a programação, além de garantir maior confiabilidade dos resultados. As VIs de som e vibração contém funções para cálculos de $L_{Aeq,T}$, L_{AFmax} , $L_{Zeq,T}$ e filtros em bandas de oitavas e frações.

Foi desenvolvido um módulo do software para medições e monitoramento local que pode ser utilizado para testes e medições de períodos curtos, com os dados salvos na estação. Para este módulo é possível realizar medições simultâneas com até 4 canais diferentes, onde os dados são lidos e analisados de forma independente. Além disso, este software conta

com opções de gravação de áudio, conexão de estação de monitoramento, ajuste de sensibilidade de microfones, gravação de parâmetros de configuração em arquivos *.ini* dentre outros.

Foi desenvolvido um segundo módulo para gestão dos dados monitorados, assegurando que os resultados sejam salvos localmente, de forma temporária, em arquivos binários e enviados em tempo real à um servidor.

3.6 Testes eletroacústicos

Para verificar a validade das funcionalidades do software e hardware de aquisição, o sistema passou por uma bancada de calibração e foram realizados os procedimentos segundo a IEC 60651:1979 [9] e IEC 60804:1985 [10]. Os testes contemplaram análise das ponderações em frequência, linearidade de nível, ponderações temporais, detector RMS e L_{Aeq} . Os testes iniciais foram realizados conforme as normas IEC acima citadas em função da disponibilidade dos recursos de instrumentação em bancada à época dos testes. Objetiva-se repeti-los aplicando a IEC 61672-3.

Assim, foi possível verificar os limites de resposta do sistema, em pontos diferentes, e sua conformidade com as normas IEC, possibilitando analisar seus limites para a aplicação desejada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados neste tópico os resultados do trabalho

4.1 Testes eletroacústicos

Nessa seção são apresentados os principais resultados dos testes realizados no sistema com a placa NI USB-9234 e o módulo um do software.

De maneira a simular a presença de um microfone no circuito, os testes consistiram na inserção de sinais elétricos em um adaptador capacitivo conectado ao pré-amplificador, e este conectado a um dos canais de entrada da placa de condicionamento e aquisição de sinais, por meio de um cabo BNC-BNC, conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1 : Montagem para testes em bancada de calibração

4.1.1 Testes de Ponderação em frequência

Estes testes são realizados nas ponderações em frequência *L*, *C* e *A*. Os testes das curvas de ponderação em frequência permitem a análise da resposta do conjunto do sistema (hardware e software), cujos resultados estão apresentados nas Figuras 2, 3 e 4.

Para estes testes são aplicados sinais de entrada com mesma amplitude e frequências variáveis. A análise visa identificar se os resultados estão compreendidos dentro dos limites estabelecidos pela IEC para Tipo 1 ou Tipo 2.

A faixa de frequência analisada compreende todo o espectro audível, de 20 Hz a 20 kHz.

A Figura 2 ilustra a resposta do sistema na ponderação *L* que representa a curva linear, ou seja, zero de atenuação em todas as frequências. Na IEC 61672-1, essa ponderação recebe o nome *Z*.

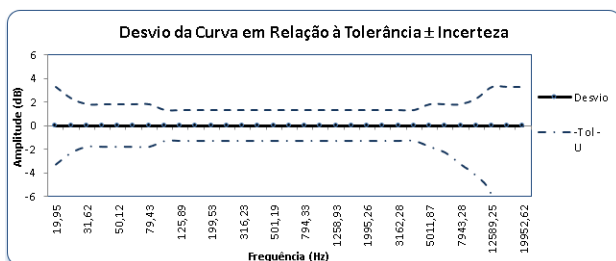


Figura 2: Gráfico de desvio com relação à curva de tolerância (ponderação *L*)

O gráfico da Figura 2 indica que não houve desvio com relação ao nível de referência na ponderação *L* em nenhum ponto, indicando que a placa tem uma curva de resposta em frequência plana.

A Figura 3 mostra o gráfico de desvio da curva *C* em relação à tolerância, e a Figura 4 o desvio da curva *A* em relação à tolerância.

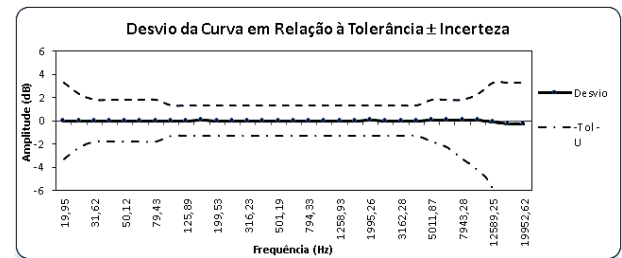


Figura 3: Gráfico de desvio com relação à curva de tolerância (ponderação *C*)

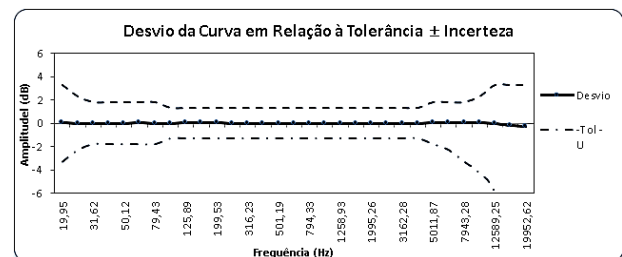


Figura 4: Gráfico de desvio com relação à curva de tolerância (ponderação *A*)

Observando os gráficos acima, são notadas variações mínimas que ficam ainda muito distantes das tolerâncias permitidas pela IEC 60651 para equipamentos Tipo 1.

4.1.2 Ponderações temporais

Para o teste de ponderações temporais, são aplicados pulsos tonais únicos de 2 kHz com durações normalizadas. Os resultados são apresentados na Figura 5.

Pond. Temporal	Nível do Pulso F/S	Nível do Pulso dB	Lmax Esperado dB	Lmax Medido dB	Limite Mínimo dB	Limite Máximo dB
Fast	126	126	125,0	125,0	123,7	126,3
Fast	116	116	115,0	115,0	113,7	116,3
Fast	106	106	105,0	105,0	103,7	106,3
Fast	96	96	95,0	95,0	93,7	96,3
Slow	126	126	121,9	121,9	120,6	123,2
Slow	116	116	111,9	111,9	110,6	113,2
Slow	106	106	101,9	101,9	100,6	103,2
Slow	96	96	91,9	91,9	90,6	93,2

Figura 5: Tabela de níveis medidos e esperados da análise das ponderações temporais

Conforme mostrado, não houve variações entre o nível esperado e o nível medido em todas as amplitudes testadas para as duas ponderações analisadas.

4.1.3 Teste de linearidade de nível



Para o teste de linearidade de nível foi mantido um sinal senoidal com frequência constante de 1 kHz e a amplitude foi elevada da menor detectável até a maior possível conforme apresentado na Figura 6.

Nível Nominal dB	Nível Medido dB	Desvio Medido dB	Tolerância +/- dB
130	130,0	0,0	0,7
129	129,0	0,0	0,7
128	128,0	0,0	0,7
127	127,0	0,0	0,7
126	126,0	0,0	0,7
124	124,0	0,0	0,7
119	119,0	0,0	0,7
114	114,0	0,0	0,7
109	109,0	0,0	0,7
104	104,0	0,0	0,7
99	99,0	0,0	0,7
94	94,0	0,0	0,7
89	89,0	0,0	0,7
84	84,0	0,0	0,7
79	79,0	0,0	0,7
74	74,0	0,0	0,7
69	69,0	0,0	0,7
64	64,0	0,0	0,7
59	59,0	0,0	0,7
54	54,0	0,0	0,7
49	49,1	-0,1	0,7
44	44,1	-0,1	0,7
39	39,5	-0,5	0,7

Figura 6: Tabela de linearidade de nível

Para a respectiva sensibilidade do sistema os níveis foram de 39 dB até 130 dB, apresentando, portanto, uma faixa dinâmica de 91 dB. O limite superior é imposto pela tensão máxima de entrada da placa de ± 5 V, o limite inferior é imposto pelo ruído autogerado da placa.

Os resultados apresentados na Figura 6 correspondem à condição de uso com microfones de sensibilidade próxima a 50 mV/Pa. A depender da sensibilidade do microfone utilizado, os limites de trabalho podem variar mantendo a diferença, entre o nível superior e o inferior, próxima a 91 dB.

4.1.4 Detector RMS

Para o teste do detector RMS são inseridos pulsos tonais de 2 kHz com fator de crista de 3 dB e período de 25 ms conforme apresentado na Figura 7.

Tipo de Pulso	Fator de Crista	Nível Esperado dB	Nível Medido dB	Limite Mínimo dB	Limite Máximo dB
Tonal	3	94,0	94,0	93,2	94,8
Retangular	+3	94,0	94,0	93,2	94,8
Retangular	-3	94,0	94,0	93,2	94,8

Figura 7: Tabela de linearidade de nível

Não houve alteração entre os níveis esperados e os medidos, conforme mostrado na Figura 7, independentemente do fator de crista e da forma de onda, assim, conclui-se que o sistema detector RMS do medidor está conforme.

4.1.5 L_{Aeq}

Sinal senoidal de 4 kHz com pulsos tonais repetidos (período 10 s) com *duty cycle* variáveis esperando atingir o mesmo resultado, independente do tipo do sinal.

Duração do Pulso ms	Fator de Pulso dB	L_{Aeq} Esperado dB	L_{Aeq} Medido dB	L_{Aeq} Mínimo dB	L_{Aeq} Máximo dB
1000	10	40,0	40,1	39,2	40,8
100	20	40,0	40,0	39,2	40,8
10	30	40,0	40,0	38,7	41,3
1	40	40,0	40,0	38,7	41,3

Figura 8: Tabela de Média temporal L_{Aeq}

Apenas no sinal com pulso de duração de 1000 ms houve uma pequena alteração que ficou dentro dos limites da IEC 60804. Os demais valores medidos se equivaleram exatamente aos valores esperados. Portanto, o sistema satisfaz também às condições deste teste, constatando que o cálculo do L_{eq} está conforme o esperado.

4.2 Teste comparativo com um sonômetro

Além dos testes em bancada para validação eletroacústica do sistema, foi utilizado um sonômetro B&K 2270 em série com a placa de aquisição NI USB-9234. Na montagem retratada na Figura 9, a saída AC do sonômetro foi conectada a um dos canais de entrada da NI USB-9234, assegurando que o mesmo sinal acústico incidido no microfone alimente a entrada do sonômetro e a entrada da placa A/D do sistema.



Figura 9: Montagem em série com o sonômetro B&K 2270

Durante 30 dias o sistema permaneceu ligado e os resultados de L_{Aeq} e L_{AFmax} foram

comparados. Não foram identificados valores cujas diferenças afetassem os cálculos dos resultados de longo período (L_d e L_n), entre os resultados medidos pelo sistema em desenvolvimento e os resultados medidos pelo sonômetro B&K 2270. Diferenças mínimas entre os valores de $L_{Aeq,1s}$ são esperadas, uma vez que não houve sincronização do *clock* dos integradores dos instrumentos.

4.3 Aplicações

Inicialmente desenvolvido para aplicação no monitoramento sonoro na região da Pampulha, por questões técnicas, de segurança e autorizações legais, não foi possível sua instalação conforme desejado. Porém, foi possível o uso do sistema desenvolvido em outra demanda de medição, também da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Belo Horizonte, conforme 4.3.1. Os testes para o propósito de monitoramento estão apresentados em 4.3.2.

4.3.1 Sistema de medição local

Inicialmente foi desenvolvido em *LabVIEW* um módulo do software para aplicações locais. A tela de interface do programa é exibida na Figura 10.



Figura 10: Tela de software feito em LabVIEW para monitoramento local

O sistema conta com todos os recursos básicos necessários para um medidor de nível de pressão sonora e pode calcular, de forma simultânea, mais de 100 descritores acústicos para cada canal, medição e análise das condições meteorológicas e visualização das coordenadas locais no mapa.

A Figura 11 mostra uma aplicação prática do sistema utilizando a placa NI USB-9234 para medições de níveis de pressão sonora no interior

de um ônibus. A placa foi conectada a um notebook Windows com o software de monitoramento instalado.



Figura 11: Utilização do sistema no interior de um ônibus

Foram distribuídos no interior do ônibus 4 microfones em locais diferentes, de forma a caracterizar o ruído que os passageiros, motorista e cobrador estão expostos, a depender do local em que viajam. A análise foi feita em diferentes situações de viagem e diferentes modelos de ônibus, incluindo um ônibus elétrico. Dessa forma, foi possível entender o impacto desses veículos no bem estar dos passageiros e trabalhadores. Os resultados dessa aplicação serão apresentados em artigo específico.

Para esta aplicação foram utilizados os quatro canais. A estação meteorológica não foi adotada nessa aplicação. Foram utilizados os recursos de gravação de áudio para escuta durante o tratamento dos resultados.

Foram utilizados microfones capacitivos modelo B&K 4188, com a sensibilidades próximas a 31,6 mV/Pa. Em decorrência dos níveis sonoros no interior do ônibus serem elevados (superiores a 50 dB), o ruído autogerado pelo hardware não influenciou os resultados finais medidos.

4.3.2 Sistema de monitoramento remoto

Para esta aplicação do sistema foram desenvolvidos dois softwares. O primeiro programa realiza a aquisição, o processamento dos dados e armazena as informações em arquivos binários temporários. O segundo programa lê e monitora os arquivos e faz o envio das informações ao servidor remoto em períodos pré-determinados.



O software de aquisição comunica diretamente com a NI USB-9234 fazendo a aquisição e processamento do sinal, gravação de áudio e geração dos resultados dos descritores acústicos. Ele permite também a conexão direta com um sensor meteorológico por intermédio de comunicação serial e realiza a análise desses dados para validação dos parâmetros acústicos.

Para o monitoramento remoto foi projetado um sistema de banco de dados em MySQL que realiza o armazenamento das informações enviadas remotamente por VPN. Esses dados foram comparados aos dados armazenados localmente no minicomputador e não foram encontradas divergências entre os dados armazenados localmente e remotamente.

Durante o período de pesquisa, infelizmente, não foi possível a instalação do sistema, em local seguro, na região da Pampulha, mas todos os testes dessa aplicação se deram em bancada.

5 CONCLUSÕES

Os resultados dessa pesquisa possibilitaram confirmar a viabilidade do uso de soluções alternativas aos sistemas comerciais de monitoramento sonoro para atendimento ao método detalhado da ABNT NBR 10151:2019.

O desenvolvimento na linguagem *LabVIEW* se mostrou eficiente e versátil, possibilitando agilidade no processo de programação. Além disso, o Hardware NI USB-9234 se mostrou estável e com ótima faixa de resposta em frequência, tornando-o aplicável em várias situações, com ressalvas àquelas quando os níveis de pressão sonora a serem medidos forem inferiores a 39 dB.

Como desdobramento e sequência desses estudos fica o desafio de desenvolver novos projeto relacionados a hardwares com maior sensibilidade para níveis de pressão sonora inferiores a 39 dB. Isto é necessário pois, a depender do ambiente urbano e do horário, é possível o registro de níveis de pressão sonora inferiores a 40 dB, principalmente em áreas urbanas residenciais e em áreas de residências rurais.

Espera-se que o projeto prossiga e seja aplicado ao monitoramento sonoro contínuo na região da Pampulha em Belo Horizonte, bem como em outras regiões e cidades.

9. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com financiamento do Fundo Municipal de Defesa Ambiental – FMDA de Belo Horizonte, conforme Edital nº 01/2018. Os autores agradecem à equipe e aos colaboradores deste projeto, em especial aos servidores da BHTrans – Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte, Viação Torres, da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e aos gestores do Fundo Municipal de Defesa Ambiental – FMDA.

REFERÊNCIAS

- [1] Guski, Rainer, Dirk Schreckenberg, and Rudolf Schuemer. "WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Annoyance." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14.12 (2017): 1539. Web.
- [2] Freire, S., and N. Gomes. "Advancing environmental noise pollution analysis in urban areas by considering the variation of population exposure in space and time." *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XL-4/W1 (2013): 155-60. Web.
- [3] World Health Organization and the Joint Research Centre of the European Commission, "Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe, World Health Organization," Tech. Rep., WHO Regional Office for Europe, 2011. View at: Google Scholar.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 10151:2019, Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas — Aplicação de uso geral.
- [5] Alías, Francesc, and Rosa Ma Alsina-Pagès. "Review of Wireless Acoustic Sensor Networks for Environmental Noise Monitoring in Smart Cities." *Journal of Sensors* 2019 (2019): 1-13. Web.
- [6] Bello, J. P., Silva, C., Nov, O., Dubois, R. L., Arora, A., Salamon, J., ... & Doraiswamy, H. (2019). Sonyc: A system for monitoring, analyzing, and mitigating urban noise pollution. *Communications of the ACM*, 62(2), 68-77. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1805.00889>

[7] Picaut, J.; Can, A.; Fortin, N.; Ardouin, J.; Lgrange, M. Low-Cost Sensors for Urban Noise Monitoring Networks—A Literature Review. *Sensors* **2020**, *20*, 2256. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s20082256>

[8] Forouharmajd, Farhad, Zahra Mohammadi, Masoumeh Ahmadvand, and Farshad Forouharmajd. "Sound Pressure Level Tools Design Used in Occupational Health by Means of *LabVIEW* Software." *International Journal of Environmental Health Engineering* 4.1 (2015): 41. Disponível em: https://rnp-primo.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/vsvpiv/TN_cdi_doaj_primary_oai_doaj_org_article_c1c54e04d0274e3a80f0dc7dc7be7b16

[9] International Electrotechnical Commission, IEC 60651:1979, Sound Level Meters.

[10] International Electrotechnical Commission, IEC 60804:1985, Integrating-averaging sound level meters.