

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO ACÚSTICA EM TERÇOS DE BANDAS DE
OITAVAS

por

Franco Zanol Vanset

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, novembro de 2016.



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE MEDIÇÃO ACÚSTICA EM TERÇOS DE BANDAS DE
OITAVA

por

Franco Zanol Vanset

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Alcy Rodolfo dos Santos Carrara
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof. Dr. Herbert Martins Gomes

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Walter Jesus Paucar Casas

Prof. Dr. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Dr. Ignacio Iturrioz

Porto Alegre, 14 de novembro de 2016

*"Be Yourself. Everyone else is already taken."
Oscar Wilde*

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais, Antenor e Margarete, e à minha irmã Luiza, aos quais serei sempre grato pelo amor, dedicação e compreensão ao longo da minha trajetória, por nunca medirem esforços ao me apoiar na busca de meus objetivos.

Aos colegas e amigos que estiveram presentes desde o início da caminhada nesta graduação.

Agradeço ao meu orientador, Professor Herbert Martins Gomes por toda ajuda para concretização deste trabalho, pelo compartilhamento do seu conhecimento, pela disponibilidade para ajudar nos momentos de dificuldade e pela excelente orientação.

Ao Grupo de Mecânica Aplicada (GMAp).

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, seus professores e colaboradores, pela dedicação em ofertar ensino de qualidade à sociedade.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação como Engenheiro Mecânico.

VANSET, F. Z. “**Construção de um sistema de medição acústica em bandas de terços de oitavas**”. 2016. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RESUMO

De maneira geral, sistemas embarcados para medição acústica e de ruído são caros e de capacidade de armazenamento relativamente limitada. Históricos de níveis de pressão sonora, níveis equivalentes, assim como os espectros de ruído obtidos, em tempo real e com possibilidade de gravação dos dados, são de grande importância para o monitoramento de condições acústicas de ambientes. A necessidade de operadores, mesmo com equipamentos comerciais portáteis, torna o monitoramento das condições acústicas de ambientes relativamente onerosa. A obtenção de históricos no tempo assim como os espectros do ruído medido permitem a correta tomada de decisão frente a tratamentos acústicos necessários para a redução da exposição ao ruído e, portanto, ao bem-estar das pessoas usuárias de ambientes potencialmente insalubres e prejudiciais ao sistema auditivo. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de sistema de medição de ruído através de programação com uso do software Matlab® e uso de um microfone de eletreto. Criou-se um sistema de forma que seja possível obter nível de ruído em diversas escalas de ponderação à semelhança dos decibelímetros existentes, assim como desenvolveu-se rotinas que permitem o cálculo de dose de ruído, Leq e exibição do espectro de frequência em bandas de oitavas ou em terços de bandas de oitavas. Ao final, verifica-se que o sistema se mostra bastante adequado para as medições, apresentando resultados bastante satisfatórios. As curvas de calibração do microfone utilizado são feitas com o uso de uma pequena câmara e de um gerador de sinais aplicado à um alto-falante que fornece a fonte de ruído nas bandas de frequência investigadas. Como referência para as calibrações e medições realizadas, se faz uso de um decibelímetro e um calibrador comercial. A curva de correção do microfone gerada mostra a necessidade de um maior ajuste em altas e baixas frequências do espectro audível, enquanto nas frequências intermediárias a correção é de menor magnitude. Medições com o sistema proposto para um ambiente ruidoso mostram que o sistema é adequado e pode substituir um decibelímetro em situações onde investigações preliminares sejam necessárias, sendo possível a gravação e acesso remoto dos dados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: medição acústica, decibelímetro, ruído, Leq, dose de ruído.

VANSET, F. Z. “**Development of one third octave band acoustic measurement system**”. 2016. 15f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ABSTRACT

Generally speaking, embedded systems for acoustic noise measurement are expensive and have relatively limited storage capacity. Time histories for equivalent levels of sound pressure as well as the noise spectrum analysis, in real-time evaluation with the possibility of data recording, are of great importance for acoustic environment condition monitoring. The need for operators even with portable commercial equipment makes the monitoring of acoustic conditions relatively arduous to perform. Obtaining time histories as well as sound spectrum of the measured noise allow making the correct decision towards acoustic treatments to reduce noise exposure, and consequently to secure the well-being of people who experience potentially unhealthy environments that are harmful to the auditory system. This academic work develops a prototype system for noise measurement, implemented and programmed in Matlab© software, along with an electret microphone. A system is developed for making it possible to obtain noise levels using different weighting scales, like existing sound level meters, and routines that evaluate the sound dose exposure, Leq and frequency spectrum, which is exhibited in octave bands and in one third of octave bands. At the end of the evaluation, it is verified that the system proved to be very suitable for this kind of acoustic measurement. The correction curves for the microphone are performed using a small acoustic camera, along with a signal generator connected to a speaker, which provides the noise source for the investigations over the frequency bands. As a standard to the calibrations and measurements performed, a sound level meter and a commercial sound level meter calibrator are used. The calibration curves shows slightly higher correction values near the upper and lower frequencies within the hearing range, at intermediate frequencies, the system needs minor corrections. Measurements taken with the proposed system on a noisy environment showed that the system is adequate and can replace a sound level meter in situations where preliminary investigations are necessary, making it possible to record measurement data and to have remote access to it.

KEYWORDS: acoustic measurement, sound level meter, noise, Leq, noise dose.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sinal de pressão sonora ao longo do tempo e intervalo de integração.	4
Figura 2 – Níveis de pressão sonora ao longo do tempo e Nível equivalente (<i>Leq</i>).	4
Figura 3 – Limiares de audição, desconforto e de dor pela ISO 226 (2003).	6
Figura 4 – (a) Curvas de igual sensação sonora para o ouvinte de acordo com a ISO 226, 2003. (b) Curvas de ponderação sonora padronizadas (ANSI S1.4, 1983).	6
Figura 5 – (a) Câmara construída para as calibrações. (b) Detalhe do posicionamento do microfone de eletreto e do microfone do decibelímetro.	9
Figura 6 – Saída gráfica após calibração do microfone para 250Hz e 94dB(Lin).	10
Figura A.1 – Especificações técnicas do decibelímetro Quest Pro 1900 (Type 1).	16
Figura A.2 – Especificações técnicas do calibrador QC-20 (Quest, 2008).	16
Figura A.3 – Especificações técnicas da placa de som Realtek High Definition Sound Card ALC662.	17
Figura A.4 – (a) Experimento de calibração com software de geração de sinais Spectralab. (b) Experimento de calibração com calibrador comercial Quest QC-20.	19
Figura A.5 – (a) Descrição do arquivo de dados gerado automaticamente pelo sistema no início de cada medição.	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis de ruído máximo para jornada de 8h em diversas regiões.	3
Tabela 2 – Estudo da incerteza para calibração a 1kHz e 94 dB.	7
Tabela A.1 – (a) Bandas de oitava e terços de oitava. (b) Níveis de ruído máximo em relação ao tempo de exposição (NR-15, 2014).	18

ÍNDICE	Pág.
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
ÍNDICE	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Metas específicas	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	1
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	2
3.1 Som e ruído	2
3.2 Normas relacionadas ao ruído no Brasil.....	3
3.3 NPS, Leq e dose de ruído.....	4
3.4 A transformada rápida de Fourier (FFT)	5
3.5 Medição do som.....	5
3.6 As curvas de ponderação A, B, C e Linear	6
3.7 Bandas de oitava e terços de oitavas	6
3.8 Erros na medição acústica.....	7
4. MATERIAIS E MÉTODOS	7
4.1 Microfone de Eletreto.....	7
4.2 Gerador de Sinais e Calibrador	8
4.3 Decibelímetro utilizado.....	8
4.4 Câmara de Calibração	8
4.5 Calibração do Microfone	9
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	9
5.1 Calibração em bandas de oitavas com a câmara construída	9
5.2 Medição em um ambiente com o sistema desenvolvido	11
6. CONCLUSÕES	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	14
ANEXOS	16
APÊNDICES.....	18

1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos e o desenvolvimento das sociedades, a convivência com ondas sonoras das mais diversas fontes geradoras vem crescendo, e se tornou um fato corriqueiro na vida de indivíduos em todo o mundo. Sob o ponto de vista da percepção humana, som pode variar desde a mais agradável sinfonia até o mais incômodo dos ruídos, que por sua vez podem afetar a atividade das pessoas de muitas maneiras. Ruídos dificultam a comunicação, diminuem a concentração, afetam a produtividade no trabalho, dentre muitos outros prejuízos. A exposição contínua à determinados níveis sonoros pode acarretar sérios danos ao corpo humano. Tendo isto em vista, a medição acústica é um objeto de estudo e investimento crescentes, e é imprescindível em inúmeras situações na atualidade. Em geral, sistemas embarcados para medição acústica e de ruído são caros e de capacidade de armazenamento relativamente limitada. Históricos de níveis de pressão sonora, níveis equivalentes assim como os espectros de ruído obtidos em tempo real e com possibilidade de gravação remota são de grande importância para o monitoramento de condições acústicas de ambientes. (Bruel & Kjaer, 1988).

A necessidade de operadores, mesmo com equipamentos comerciais portáteis, torna o monitoramento das condições acústicas de ambientes relativamente onerosa. A obtenção de históricos no tempo assim como os espectros do ruído medido permitem a correta tomada de decisão frente a tratamentos acústicos necessários para a redução da exposição ao ruído e, portanto, ao bem-estar das pessoas usuárias de ambientes potencialmente insalubres e prejudiciais à saúde. O ouvido humano é um sistema que converte as variações de pressão em sensações auditivas, entretanto, a percepção do ouvido não é constante dentro de toda a faixa de frequência audível. Para que seja possível mensurar a percepção do som com eficácia, é necessário o ajuste da medição através de curvas de ponderação obtidas experimentalmente. Neste sistema de medição serão implementadas e empregadas curvas de ponderação definidas em normas no domínio do tempo e frequência para correção do sinal medido, e que não são facilmente encontradas em decibelímetros comerciais.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um protótipo de sistema de medição de ruído através de programação com uso do software Matlab (2000), utilizando como transdutor um microfone de eletreto.

1.2 Metas específicas

Pretende-se criar um sistema de forma que seja possível obter nível de pressão sonora em diversas escalas de ponderação à semelhança dos decibelímetros comerciais disponíveis, assim como desenvolver rotinas que permitam o cálculo de dose de ruído e exibição do espectro de frequência em bandas de oitavas e bandas de terços de oitavas. Será também implementada a gravação dos dados do procedimento de medição, sempre que iniciada uma nova leitura, o sistema irá armazenar informações como data, hora, nível de pressão sonora instantâneo, nível equivalente, dose de ruído, espectro de frequências em bandas e terços de oitavas, entre outros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Müller (2004) afirma que medições acústicas atualmente podem ser feitas em qualquer computador, indicando que a maior parte das placas de som embutidas oferecem qualidade razoável. Entretanto ele lembra que o usuário se esbarra em problemas como na captação de respostas impulsivas, onde outros dispositivos como amplificadores e pré-amplificadores assim como microfones com qualidade superior são necessários. O trabalho traz a construção de um software *front end* para aquisição de dados acústicos para conexão com notebooks e desktops juntamente com hardware de amplificadores de potência onde todos os ganhos ao longo do caminho do sinal captado são conhecidos. Ao final, um *front end* em Labview assim como um módulo de amplificação com fonte chaveada é apresentado indicando sua aplicação em medições com um computador desktop.

Em seu relatório final de iniciação científica, Iazzeta e Masiero (2004) apresentam um estudo sobre a implementação de métodos de medição de resposta impulsiva em salas de pequeno porte. No trabalho eles implementam um software em Labview com o pacote de análise de sinais para a medição acústica juntamente com o uso de microfones simples de eletreto condensado.

Com o objetivo de criar um medidor de pressão sonora de baixo custo, Douglas R. Lanman (2005) desenvolveu um código de programação em Matlab (2000) para medição de níveis de pressão sonora em tempo real, adquirindo dados da placa de som em qualquer taxa de amostragem suportada. Lanman fez uso da transformada direta de Fourier, através de um algoritmo de transformada rápida de Fourier, para reduzir o esforço computacional requerido. A frequência de amostragem aplicada foi de 44.1kHz, para que se obtenha uma reconstituição do sinal analógico do transdutor com o mínimo de perda possível, pensando nas mais elevadas frequências percebidas pelo ouvido humano, da ordem de 20kHz.

Para alinhar a resposta do medidor acústico às sensações notadas pelo sistema auditivo do corpo humano, Lanman (2005) aplicou o filtro de ponderação "A", que é o mais usado para atenuar ou acentuar a resposta do sistema de acordo com a frequência das ondas sonoras. A curva "A" assim como outras curvas de ponderação é definida por normas de medição acústica. Com o auxílio de dois decibelímetros comerciais, Lanman (2005) efetuou experimentos de calibração no seu sistema, buscando uma confiabilidade maior para a resposta do medidor. A calibração se deu por meio da geração de sinais sonoros em uma sala e a comparação do valor do sistema com aquele informado pelos decibelímetros. É ressaltado que uma série de fatores podem afetar a calibração, como a inclinação do microfone, distância para os decibelímetros, reflexão das ondas na sala, entre outros. Entretanto, é possível realizar uma calibração de nível satisfatório com o simples método aplicado por Lanman (2005). Masini (2011) apresenta uma proposta de equipamento portátil capaz de efetuar medição automática de coeficiente de absorção de materiais com um chamado tubo de impedância em PVC. O sistema pode ser utilizado para o cálculo do coeficiente de absorção para materiais em faixas de frequências 75Hz a 4650 Hz utilizando alto-falante automotivo, 2 microfones de eletreto, amplificador e software Labview para aquisição e processamento de sinais.

Na construção de um medidor de pressão sonora, a calibração é de suma importância para garantir a consistência dos dados obtidos. Fatores como distância da fonte geradora ao transdutor, ângulo de incidência da onda sonora e reflexão das ondas no ambiente alteram os resultados obtidos, sendo imprescindível considerá-los no momento de calibrar o sistema. Em um artigo publicado pela *Earthworks High Definition Microphones* (Arta, 2006), Alex Khenkin relata a construção de uma câmara anecóica para uso no experimento de calibração de microfones omnidirecionais. O foco do experimento foi mensurar a resposta do microfone em frequências de até 500Hz, porém ao calibrar a câmara com o uso de um microfone de referência, é possível calibrar microfones em uma ampla escala de frequências. A câmara consiste basicamente de um pequeno tubo, com placas de madeira nas extremidades, em uma delas é fixado um alto-falante e na outra são montados adaptadores para diferentes ponteiros de microfones. O experimento fundamenta-se na geração de ondas de parâmetros conhecidos através do alto-falante e análise da resposta de nível de pressão sonora versus frequência dos microfones. A análise também contemplou a influência da variação de distância entre os microfones e o gerador de sinais na resposta dos mesmos. Outro ponto considerado foi a vedação da câmara, testes foram realizados com vedação completa, parcial e com nenhum tipo de vedação. Nas suas conclusões, Khenkin (Arta, 2006) aponta os bons resultados e o baixo custo de construção da câmara e sugere este método de calibração em conjunto com um microfone de referência para obtenção de resultados para calibração.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Som e ruído

Som é uma variação periódica da pressão do ar em torno da pressão atmosférica, dentro de uma faixa específica de frequências. A onda sonora é definida como longitudinal, em razão

da direção de oscilação das partículas, paralela àquela da propagação da onda (Beckwith *et al.*, 1993). Em sua forma mais pura, o som é uma onda senoidal de apenas uma frequência, porém esta não é a caracterização dos sons comuns à nossa volta, que são compostos de fontes primárias e secundárias, e possuem amplitude e frequência variadas. Ruído, na sua mais simples definição, é todo e qualquer som apontado como indesejado e desagradável. O nível de incômodo causado por um ruído pode variar consideravelmente entre indivíduos, inclusive devido à atitude do mesmo em relação a ele. Exposição prolongada ou esporádica à ruídos pode causar danos irreversíveis à audição de seres humanos, por isso a grande importância na avaliação e controle dos mesmos.

3.2 Normas relacionadas ao ruído no Brasil

Ao realizar uma medição acústica, é de fundamental importância o embasamento em procedimentos e normas pré-estabelecidos e atestados, com fins de se obter resultados representativos e coerentes. No presente trabalho, o sistema de medição sonora foi desenvolvido levando em consideração determinadas normas de abrangência nacional e internacional.

A Norma Regulamentadora No.15 (NR-15, 2014), do Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil, de 2014, caracteriza parâmetros de insalubridade em diversas atividades em relação à exposição à ruídos, sendo insalubres aquelas exposições que se desenvolvem acima dos limites de tolerância. Ruídos são classificados na norma em dois grupos, os “contínuos ou intermitentes” e aqueles considerados “de impacto”. Para ruídos contínuos ou intermitentes, a medição deverá ser realizada próxima ao ouvido do trabalhador analisado, com um equipamento ajustado para a curva de compensação “A” e tempo de resposta lento. A Tabela A.1, no apêndice, indica o tempo de exposição máxima diário para cada faixa de nível equivalente (Leq).

O sistema presente não foi calibrado para ruídos de impacto, devido à dificuldade de medir este tipo de ruído, e a necessidade de um microfone de maior custo. Apesar disto, a curva de ponderação “C” foi aplicada ao sistema, curva esta que segundo a Norma Regulamentadora No.15 (NR-15, 2014) se aplica à ruídos de impacto. Segundo a norma, para ruídos de impacto, que são caracterizados como ruídos com picos de energia inferiores à um segundo, inseridos em intervalos superiores à um segundo, o sistema de medição deverá ser ajustado para curva de compensação para ruídos de impacto, ou na ausência desta, para a curva de compensação “C” e tempo de resposta rápido. Os limites de tolerância são 130 dB (ponderação linear) para o primeiro caso e 120 dB (C) para o segundo caso. A tabela 1 abaixo mostra uma comparação dos limites estabelecidos na norma vigente no Brasil com as normas vigentes no continente Europeu e nos Estados Unidos da América.

É perceptível que a norma brasileira permite tempos de exposição menores do que a norma americana para as mesmas faixas de Leq, entretanto quando comparada à norma europeia a norma brasileira é menos protetiva. Para aplicação no presente trabalho, foram usados os dados da norma brasileira.

O Instituto Nacional Americano de normas, por meio da norma ANSI S1.4 (1983) *Specifications for sound level meters*, especifica uma série de características necessárias em sistemas de medição para minimizar possíveis erros e variações nas leituras. Estão inclusas nesta norma as equações e coeficientes das curvas de compensação “A”, “B” e “C”, curvas estas que foram aplicadas no presente sistema de medição. Uma explicação mais aprofundada sobre o que são e porque usar as curvas de compensação será apresentada no decorrer deste trabalho.

Tabela 1 – Níveis de ruído máximo para jornada de 8h em diversas regiões.

Leq dB(A) Brasil	Leq dB(A) Europa	Leq dB(A) EUA	Máxima exposição diária permissível
85	85	90	8h
90	88	95	4h
95	91	100	2h
100	94	105	1h
105	97	110	30min
110	100	115	15min

3.3 NPS, Leq e dose de ruído

Pressão sonora é caracterizada como a diferença instantânea manométrica, assumida com média zero, entre a pressão em um ponto e a pressão atmosférica local (Figura 1). Portanto para uma avaliação do som em um intervalo de tempo específico, é necessário avaliar seu valor quadrático médio.

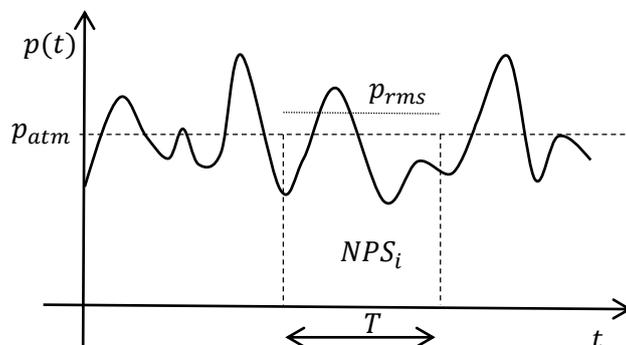


Figura 1 – Sinal de pressão sonora ao longo do tempo e intervalo de integração.

Para um sinal de pressão sonora $p(t)$ amostrado em intervalos de tempo Δt , o valor da pressão *rms* (root mean square) é dado por:

$$p_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n p^2(t_k)} \quad (3.1)$$

A razão entre a máxima e mínima pressão sonora percebida pelo ouvido humano chega a escala dos milhões, portanto é conveniente o uso de uma escala logarítmica, o decibel (dB). O nível de pressão sonora (*NPS*) é avaliado nesta escala logarítmica que representa uma comparação expressa como a razão entre o valor quadrático médio do sinal de pressão sonora no tempo T , e uma referência padrão (mínima flutuação de pressão audível), $20 \mu\text{Pa}$ (Gomes, 2015, Gerges, 2000).

$$NPS = 10 \log_{10} \frac{p^2_{rms}}{p_0^2} = 10 \log_{10} \frac{V^2_{rms} 10^{C/10}}{p_0^2} = 10 \log_{10} \frac{V^2_{rms}}{p_0^2} + C \quad (3.2)$$

onde $p(t)$ é pressão instantânea em um ponto, p_{rms} é pressão *rms* do intervalo, $T = N / f_s$ é tempo de aquisição, N é o número de pontos e $f_s = 1/\Delta t$ é a taxa de aquisição (48000 Hz). p_0 é $20 \mu\text{Pa}$ e C é a constante que transforma tensão elétrica V_{rms} em pressão (Pa). Para avaliações de ruído em ambientes realizadas em longos períodos de tempo (Figura 2) é interessante usar um valor único que represente o histórico de pressão sonora do intervalo.

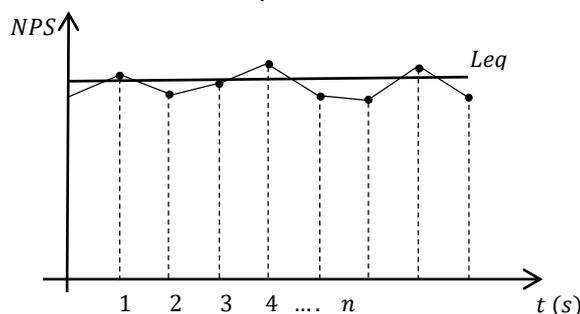


Figura 2 – Níveis de pressão sonora ao longo do tempo e Nível equivalente (*Leq*).

Assim, define-se o nível equivalente (*Leq*) como o valor em decibéis que produziria a mesma energia gerada pelo histórico completo do nível de pressão sonora no período de medição, avaliada pelo nível de pressão da média das pressões quadráticas no período de tempo analisado (Gomes, 2015).

$$Leq = 10 \log_{10} \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{0i}^2 \cdot 10^{\frac{NPS_i}{10}}}{p_0^2} \quad (3.3)$$

Quando são efetuadas medições acústicas com fins de análise da exposição de indivíduos no seu posto de trabalho, é comum usar o conceito de dose. A dose consiste no percentual de exposição diária de uma pessoa ao ruído, em relação ao máximo permitido por leis e normas. Os limites de máxima exposição diária por faixa de Leq , segundo a norma Brasileira (NR-15, 2014), estão descritos na Tabela A.1. A equação (3.4) indica esta relação. Para uma jornada diária de 8h, este valor de dose deve sempre ser inferior a 1,0.

$$DOSE = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \quad (3.4)$$

Onde C_n representa o tempo de exposição à um certo nível equivalente de pressão e T_n o correspondente tempo máximo admissível para este nível pela NR-15, indicado na Tabela A.1(b) no apêndice.

3.4 A transformada rápida de Fourier (FFT)

A transformada rápida de Fourier é um algoritmo computacional que calcula o espectro de frequência (possibilitando analisar o conteúdo de frequências) de séries de dados adquiridos no tempo, é uma variante da transformada discreta de Fourier. Ao aplicar a transformada discreta de Fourier em sinais contínuos no tempo, as integrais envolvidas são substituídas por somas, a variável tempo contínuo é substituída pelo tempo discreto, assim como o período, que consiste em “N” pontos vezes o intervalo de tempo entre duas leituras do sinal. Aplicando a FFT, é realizada uma faturação destas somas, que se aplica quando o número de pontos “N” é uma potência de dois, assim, cálculos que seriam proporcionais à N^2 são proporcionais à $N \log_2 N$, fazendo com que seja necessário uma quantidade significativamente menor de cálculos para um “N” elevado (Müller e Möser, 2013). Neste trabalho, o espectro de frequência do ruído, através do uso da FFT, foi gerado em tempo real durante as medições e mostrado na interface gráfica para o usuário no ambiente de programação em Matlab (2000).

3.5 Medição do som

Sons podem ser analisados sob duas perspectivas distintas, uma que estuda o som como um fenômeno físico e seus parâmetros, e a outra que observa o som com o enfoque no processo humano da audição, o efeito do som percebido pelos indivíduos. Frequentemente as medições acústicas têm o foco associado à audição humana como na avaliação dos danos que possam trazer à saúde auditiva. Na grande maioria dos casos, a medição do som se concentra em avaliar os parâmetros sonoros da forma como são identificados pelo sistema auditivo do corpo humano. Técnicas e sistemas de medição são, inevitavelmente, muito influenciados pela composição fisiológica e psicológica do ouvido humano como transdutor e do cérebro como avaliador final (Beckwith *et al.* 1993).

Dentro da faixa audível do espectro de frequências, que é aproximadamente de 16 Hz a 22kHz, o ouvido humano apresenta uma resposta pouco linear à pressão sonora. Na figura 3 podemos ver que o ouvido humano tem sua maior sensibilidade em frequências próximas a 4kHz, já em baixas frequências, em torno de 50Hz, um nível de pressão sonora bem mais elevado é necessário para transmitir a mesma sensação sonora.

Em razão desta não-linearidade, é interessante o conhecimento da sonoridade (fones), uma medida de magnitude relativa do som no ponto de vista do ouvinte. A sonoridade é medida na unidade “fone”, sendo que a sonoridade em fones é numericamente igual ao nível de pressão sonora na frequência de 1000Hz. Na Figura 4(a), são indicadas as curvas de igual sensação sonora para sons puros indicados na norma ISO 226 (2003). Assumindo que a maioria das medições acústicas são voltadas à sensação do ouvido, é necessária a calibração e implementação de filtros para aproximação e correção das não-linearidades características ao sistema auditivo humano.

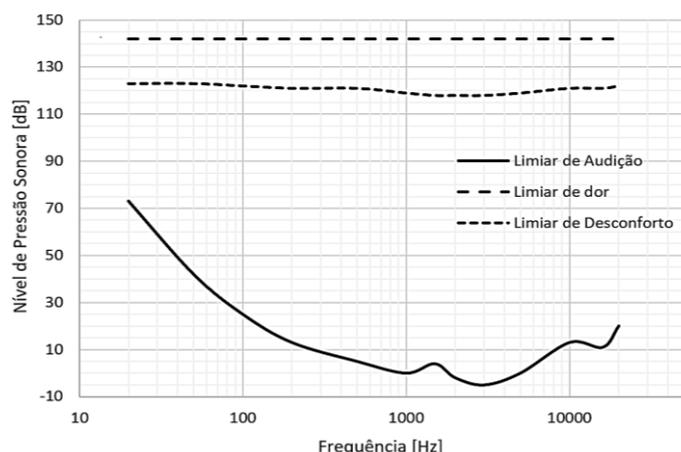


Figura 3 – Limiares de audição, desconforto e de dor pela ISO 226 (2003).

Os filtros baseados nas curvas de igual sensação sonora são definidos em normas (ANSI S1.4, 1983 e ISO 226, 2003) e estão definidos na Figura 4(b) para as ponderações A (ruídos intermitentes) a C (ruídos de impacto).

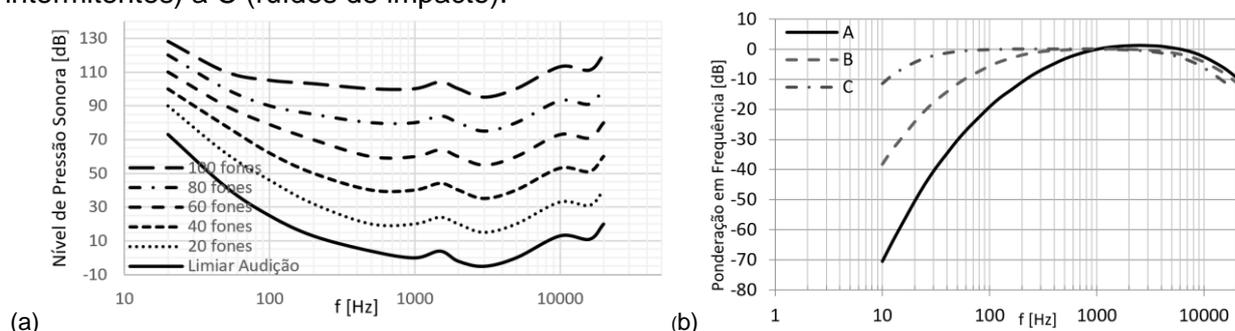


Figura 4 – (a) Curvas de igual sensação sonora para o ouvinte de acordo com a ISO 226, 2003. (b) Curvas de ponderação sonora padronizadas (ANSI S1.4, 1983).

3.6 As curvas de ponderação A, B, C e Linear

Para as curvas de ponderação A, B e C foram utilizadas as formulações indicadas pela Norma ANSI S1.4, (1983) como demonstrado a seguir (a escala Linear implica em $W_{LIN}(f) = 0,0$ dB) :

$$W_C(f) = 10 \log \left(\frac{K_1 f^4}{(f^2 + f_1^2)(f^2 + f_4^2)} \right) \quad (3.5)$$

$$W_B(f) = 10 \log \left(\frac{K_2 f^2}{(f^2 + f_5^2)} \right) + W_C \quad (3.6)$$

$$W_A(f) = 10 \log \left(\frac{K_3 f^4}{(f^2 + f_2^2)(f^2 + f_3^2)} \right) + W_C \quad (3.7)$$

onde $f_1 = 20,598997$, $f_2 = 107,65265$, $f_3 = 737,86223$, $f_4 = 12194,22$, $f_5 = 158,48932$, $K_1 = 2,242881 \times 10^{16}$, $K_2 = 1,025119$, $K_3 = 1,562339$.

3.7 Bandas de oitava e terços de oitavas

Ao mensurar um nível de pressão sonora é obtido um indicativo para intensidade do som, entretanto, o parâmetro de NPS em si não carrega informações sobre a frequência da onda sonora. Em medições acústicas, como já citado, saber as frequências predominantes presentes em um sinal é de suma importância, tanto para detectar fontes sonoras com fins de redução de ruídos como para quantificar com precisão a sensação sonora percebida pelo sistema auditivo humano. Por esta razão, é conveniente a representação do espectro de frequências em bandas,

dentre as bandas comumente usadas destacam-se as bandas de oitava e bandas de terços de oitava. Uma oitava é uma banda de frequência na qual a frequência mais alta é o dobro da mais baixa, por exemplo, uma oitava com frequência de centro igual a 1kHz admite frequências desde 707Hz até 1414Hz. Já nas bandas de terços de oitava, a maior frequência corresponde à 126% da menor. A tabela A.1(a), no apêndice, lista as frequências centrais e os limites superior e inferior das bandas de oitava e de terços de oitavas. Para o cálculo do nível de pressão sonora por bandas de oitavas ou terços de oitavas, o cálculo é feito através da integração nos limites da banda de frequência do gráfico correspondente da transformada de Fourier.

$$p_{rms\,banda} = \int_{f_i}^{f_f} P(f) df \quad (3.8)$$

onde $P(f) = \mathcal{F}[p(t)]$, a transformada de Fourier do sinal de pressão no tempo, $p_{rms\,banda}$ é a pressão *rms* da banda de frequência, f_i é o limite inferior de frequência da banda, f_f é o limite superior de frequência da banda em questão.

3.8 Erros na medição acústica

Em medições, erro pode ser definido como a diferença entre o valor medido e o valor verdadeiro da variável medida (Beckwith *et al.*, 1993). Em medições acústicas, determinados erros são mais frequentes e devem ser considerados em uma calibração ou medição, como ruído de fundo ou ruído ambiente. Ruídos de fundo devem ser abatidos por proteções físicas ou pela aplicação de filtros no sistema de medição. Quando se tem ruídos de fundo de ordem de magnitude 10 dB abaixo do ruído que se está medindo, por uma questão de soma de valores em decibéis, este ruído de fundo não estará afetando a medição que se está fazendo. Durante as calibrações efetuadas, tomou-se o cuidado de sempre verificar se o ruído de fundo estava 10dB abaixo do som puro senoidal de calibração que estava sendo utilizado. Interferências eletromagnéticas de lâmpadas fluorescentes com reatores, ondas curtas de rádio e mesmo correntes parasitas na polarização dos microfones podem gerar ruídos no sinal elétrico medido e, portanto, incertezas nas medições deste ruído. O sistema conversor A/D deve possuir uma alta relação S/R (sinal ruído) como a placa ACL662 indicada na Figura A.3 com as especificações da placa, no Anexo.

Na Tabela 2 é demonstrado um estudo sobre a incerteza do sistema para o caso da calibração com o calibrador comercial QC-20 (Quest, 2008) para o padrão de 94dB(Lin) a 1 kHz. Percebe-se que a flutuação é pequena no valor do NPS, expressa pelo desvio padrão baixo obtido. Na pior situação, o ruído captado nas outras bandas, ficou 34 dB(Lin) abaixo do ruído medido.

Tabela 2 – Estudo da incerteza para calibração a 1kHz e 94 dB.

Medidas	Bandas de oitavas											NPS dB(Lin)	Leq dB(Lin)
	15,6	31,5	62,5	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k		
1	39.8	42.9	52.1	52.7	54.4	59.4	94	53.9	47.9	41.8	34.8	94.00	94.00
2	38.2	41.2	51.5	52.2	53.5	58.4	94	55.7	50.4	45.9	42.7	94.01	94.01
3	36.7	39.6	51.2	51.7	52.8	57.7	94	56.6	51.5	47.4	44.8	94.02	94.01
4	37.6	40.5	51.4	52	53.3	57.9	94	56.2	51	46.8	44	94.02	94.01
5	37.8	40.6	51.4	52	53.2	57.9	94	56.1	50.9	46.6	43.7	94.02	94.01
6	37	39.9	51.2	51.8	52.9	57.6	94	56.5	51.4	47.4	44.6	94.03	94.02
7	37.2	40	51.3	51.8	52.9	57.7	94	56.5	51.4	47.3	44.6	94.02	94.02
8	37.6	40.4	51.3	51.9	53.1	57.8	94	56.3	51.1	46.9	44.1	94.02	94.02
9	37.2	40	51.3	51.8	52.9	57.7	94	56.5	51.4	47.2	44.5	94.02	94.02
												$\mu=$	94.0178
												$\sigma=$	0.0083

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Microfone de Eletreto

Sistemas de medição acústica em geral usam um microfone como transdutor, para transformar a variação de pressão em um sinal elétrico. Em um microfone temos dois transdutores, o primeiro, consiste de um fino diafragma que se move de acordo com a ação da

pressão atmosférica sobre ele, o segundo varia de acordo com o tipo do microfone, que pode ser tipo dinâmico, piezelétrico, de carbono, ou condensador, este último, amplamente usado, é o foco para o trabalho em questão.

Um microfone condensador, também conhecido como microfone capacitivo, opera por meio de um diafragma e uma fina placa, separados por uma estreita lacuna de ar, formando um capacitor, quando há variação de pressão sonora, o diafragma se movimenta, alterando a capacitância e a corrente no circuito. Este capacitor necessita de uma fonte de corrente contínua para polarizá-lo, exceto no microfone de eletreto, um tipo particular de microfone condensador, que usa um material permanentemente carregado para a polarização, o eletreto. O microfone de eletreto é amplamente usado sendo pouco sensível à vibração externa e umidade, além disso, o mesmo pode ser adquirido por valores acessíveis, o que fez dele a escolha para o medidor desenvolvido.

4.2 Gerador de Sinais e Calibrador

Um dos métodos possíveis para a calibração de um sistema de medição é a geração de sinais conhecidos e comparação da resposta do sistema com a resposta de um medidor padrão confiável. Para a geração de ondas sonoras na calibração do presente sistema, foi usado o software de geração de sinais Spectralab, 2006, juntamente com um alto-falante conectado ao computador. O alto-falante usado foi um Selenium 5 pol. (8Ω), com potência máxima de 18 W *rms*. Em outra etapa da calibração, foi utilizado um calibrador comercial com certificado Quest QC-20 (Quest, 2008), capaz de gerar quatro padrões de onda sonora de frequência e nível de pressão sonora distintos, com alto nível de precisão (frequência de 250 Hz a 94 dB e a 114 dB, assim como frequência de 1kHz a 94dB e a 114 dB, Figura A.2 no anexo).

4.3 Decibelímetro utilizado

Medidores comerciais de nível de pressão sonora, os chamados decibelímetros, são em geral aparelhos portáteis que mensuram a pressão sonora em termos de uma pressão de referência. O Instituto Nacional americano de normas, por meio da norma ANSI S1.4 *Specifications for sound level meters*, especifica os medidores de pressão sonora em quatro categorias, medidores de precisão, uso geral, de pesquisa, e aqueles de uso específico. A diferença entre eles está basicamente na sua margem de erro e na aplicação. No momento da calibração do presente sistema, foi feito uso de um decibelímetro da categoria Tipo 1, de precisão, mais precisamente o equipamento Quest modelo 1900 (Quest, 1998) (Figura A.1 no anexo), cuja calibração foi constantemente aferida durante os ensaios pelo calibrador comercial QC-20 (Quest, 2008).

4.4 Câmara de Calibração

Na calibração de equipamentos e também nas medições acústicas, os efeitos do ambiente são um fator de alta influência na qualidade dos dados obtidos. Pensando nisto, foi desenvolvida uma pequena câmara para uso durante a calibração do medidor (Figura 5). O intuito da câmara foi minimizar possíveis fontes de ruído externo e impedir ao máximo reflexões da onda sonora, buscando uma igual condição de leitura para o microfone do sistema e o microfone do decibelímetro. A construção da câmara consistiu de um segmento de cano de PVC com diâmetro de 15mm, revestido internamente com manta acústica Multi-Impact. Em uma extremidade do cano foi acoplado o alto-falante para geração de sinais, já a outra extremidade foi fechada com uma tampa de PVC, equipada com dois orifícios para encaixe do microfone do sistema assim como a ponteira do decibelímetro Quest 1900.

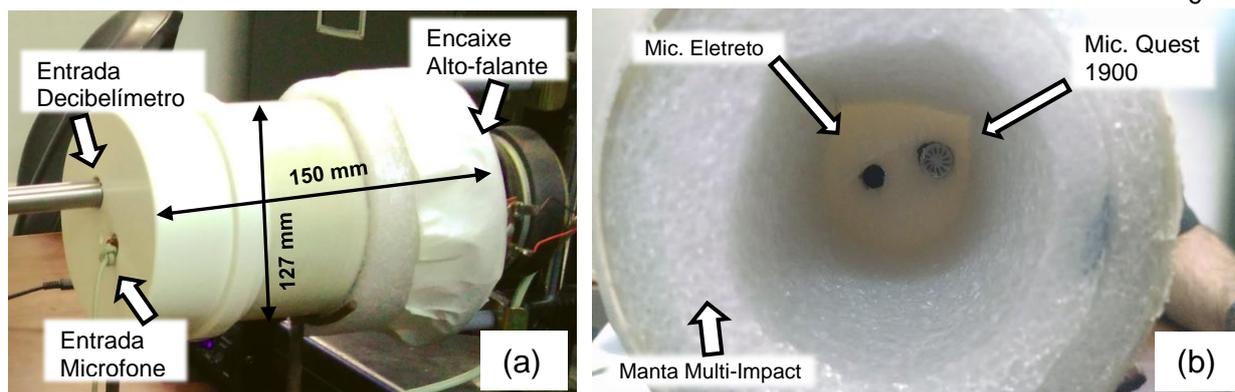


Figura 5 – (a) Câmara construída para as calibrações. (b) Detalhe do posicionamento do microfone de eletreto e do microfone do decibélímetro.

4.5 Calibração do Microfone

A obtenção de resultados satisfatórios em medições acústicas está fortemente ligada à precisão do sistema de medição, precisão esta que depende da confiabilidade das partes integrantes do sistema e da calibração aplicada a ele. No presente trabalho, foram aplicados dois métodos de calibração, o primeiro deles consistiu na geração de um sinal sonoro com nível de pressão sonora e frequência conhecidos por meio de um calibrador comercial, e consequente captação do sinal pelo sistema (Figura A.4(b)). O segundo método foi o de comparação de resposta, onde um sinal de frequência conhecida é gerado, e a resposta do sistema é confrontada com aquela indicada por um equipamento comercial padrão e aferido.

O experimento de calibração com pressão e frequência conhecidas foi realizado para obtenção de uma primeira constante de calibração “C” (Equação 3.2), para obter a constante de conversão entre tensão elétrica e pressão. O valor medido foi de 27,92 dB(Lin).

Como verificação do primeiro experimento de calibração, foi analisada a resposta do sistema aos sinais gerados pelo calibrador comercial QC-20 (Quest, 2008) nas faixas e intensidades sonoras disponíveis (94 dB(Lin) e 114 dB(Lin)). Na Figura 6, mostra-se o resultado após calibração do microfone para 250Hz e 94dB(Lin) e na Figura 7, mostra-se o resultado após calibração do microfone para 1kHz e 114dB(Lin).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Calibração em bandas de oitavas com a câmara construída

Já aplicada a primeira etapa, foi então feito o segundo experimento de calibração do sistema (figura A.4 (a)), sendo esta uma calibração com um maior refinamento, analisando uma série de pontos dentro do espectro de frequência audível. As frequências geradas, com uso do software gerador de sinais (Spectralab, 2006) conectado ao alto-falante, foram as de centro das bandas de oitava, além de algumas frequências complementares analisadas com o intuito de aprimorar a curva de correção. Para cada uma das frequências geradas, foram consultados os resultados do nível de pressão sonora lidos tanto pelo decibélímetro Quest Pro 1900 quanto pelo microfone, as duas leituras foram então confrontadas a fim de mensurar a variação entre os dois sistemas de medição. Para garantir que os sinais fossem gerados com a intensidade necessária para a captação pelo microfone e pelo decibélímetro, um amplificador (Havonik 12CS 50W) foi utilizado nesta calibração, aumentando a tensão fornecida ao alto-falante.

A Figura 8(a) mostra a curva de calibração para o microfone de eletreto utilizado para o procedimento descrito anteriormente. Percebe-se que nas faixas entre 2kHz e 10kHz e entre 16Hz e 250 Hz as correções do microfone são mais significativas, o que era de se esperar neste tipo de microfone. Na Figura 8(b) mostra-se um gráfico de diferenças entre o valor medido pelo sistema e aquele indicado pelo decibélímetro após a aplicação das curvas de correção para o microfone. Percebe-se que todas as diferenças ficam dentro da faixa ± 2 dB(Lin).

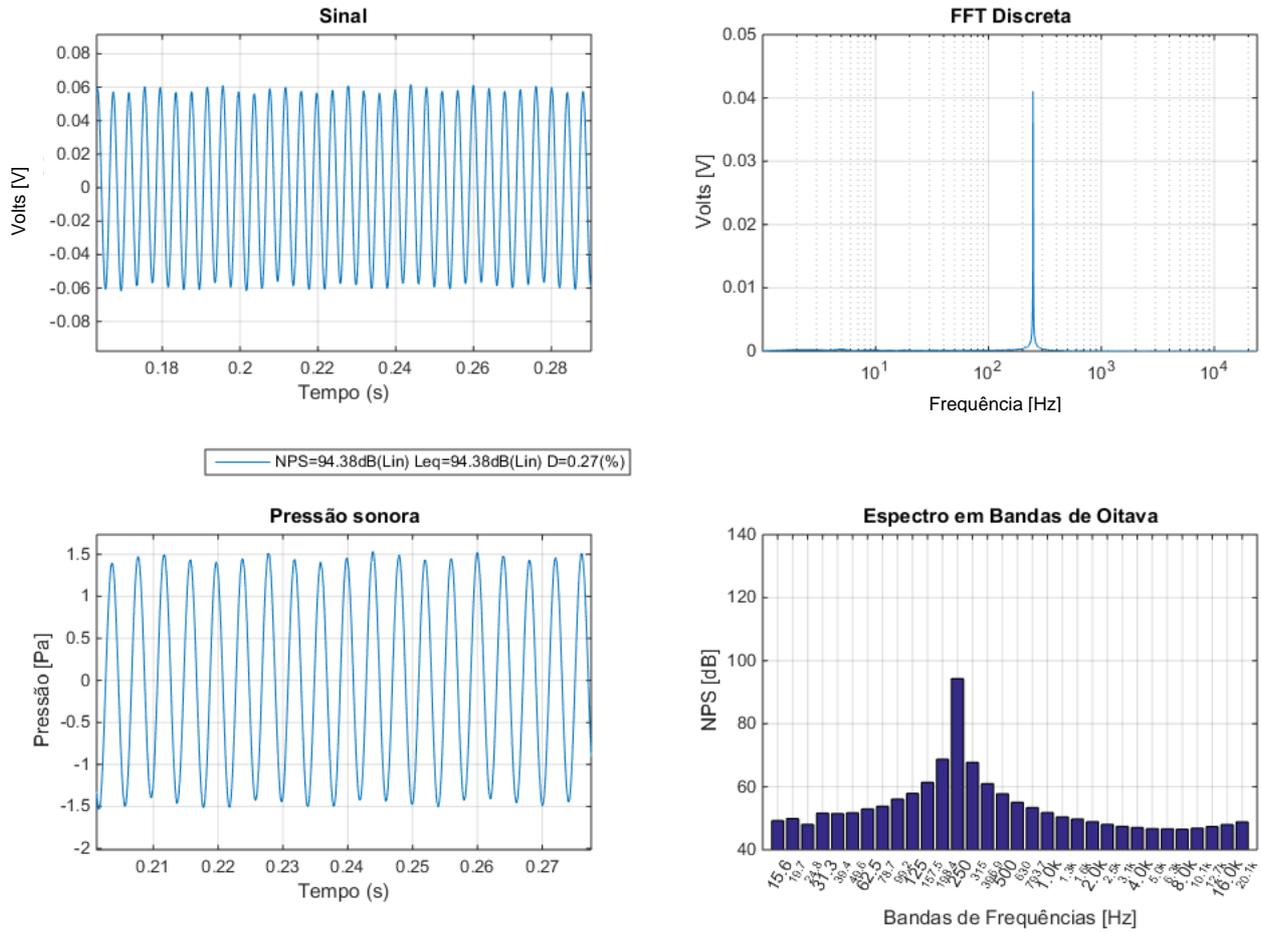


Figura 6 – Saída gráfica após calibração do microfone para 250Hz e 94dB(Lin).

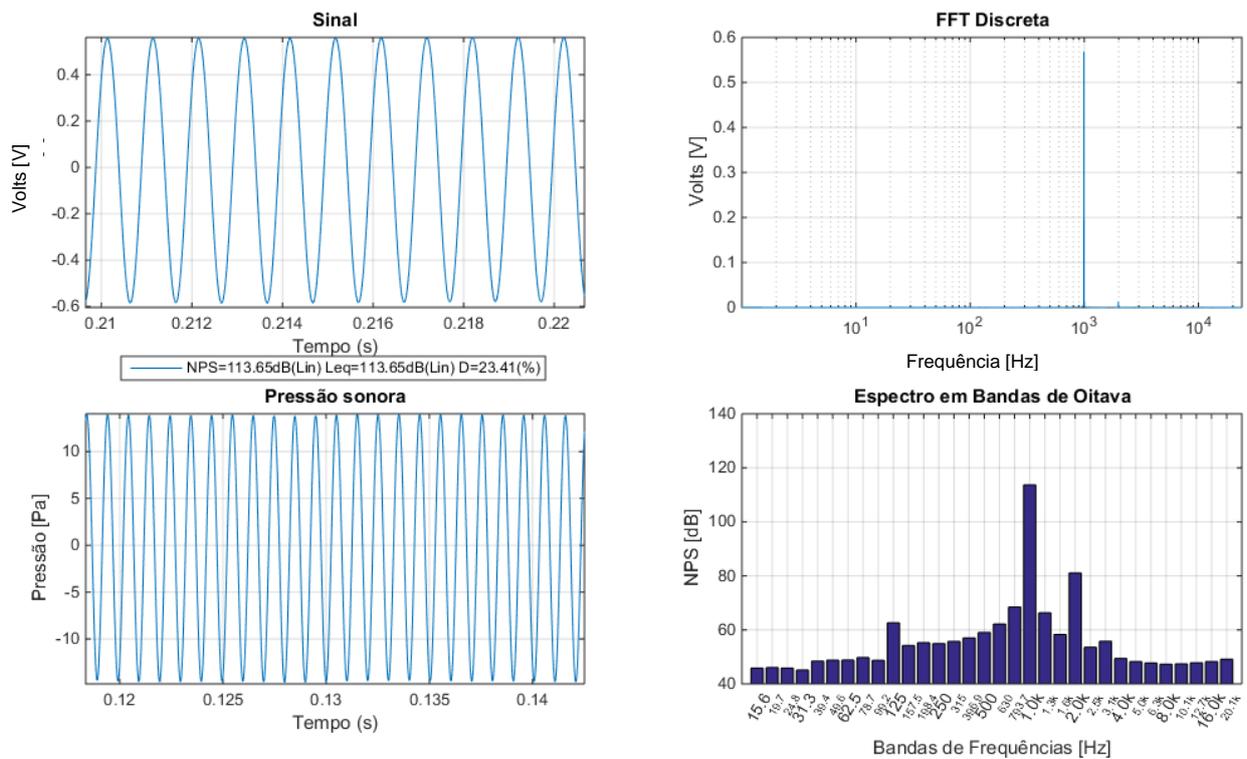


Figura 7 – Saída gráfica após calibração do microfone para 1 kHz e 114 dB(Lin).

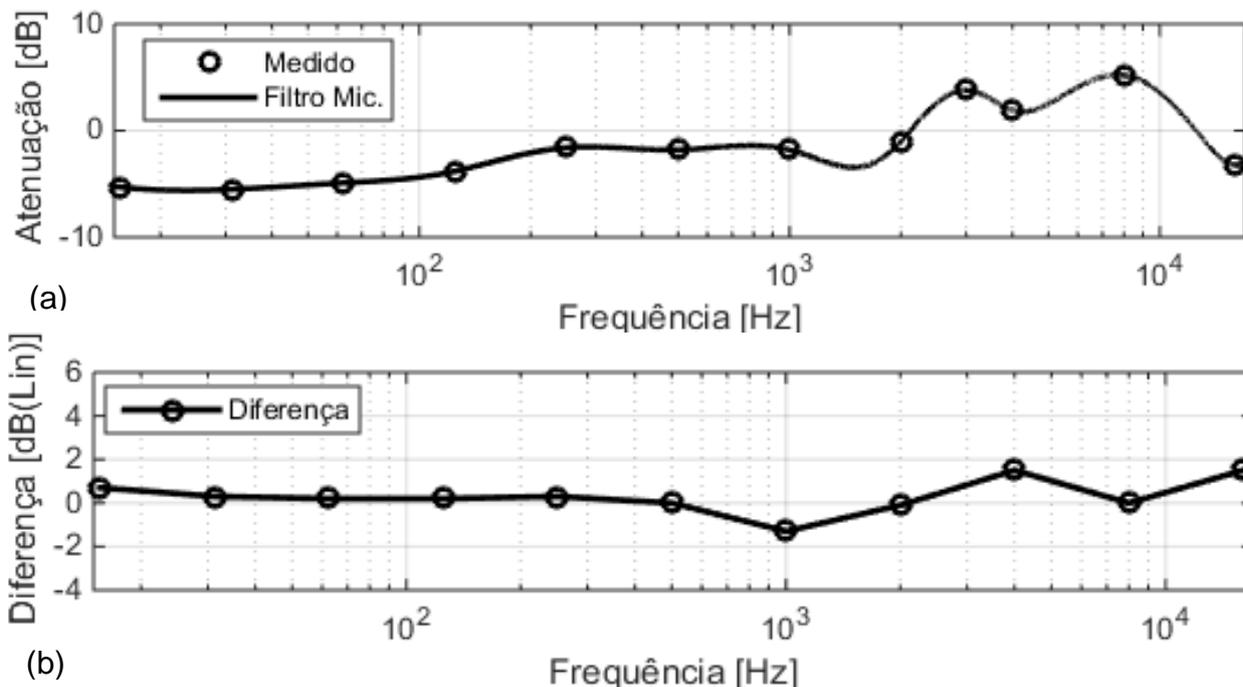


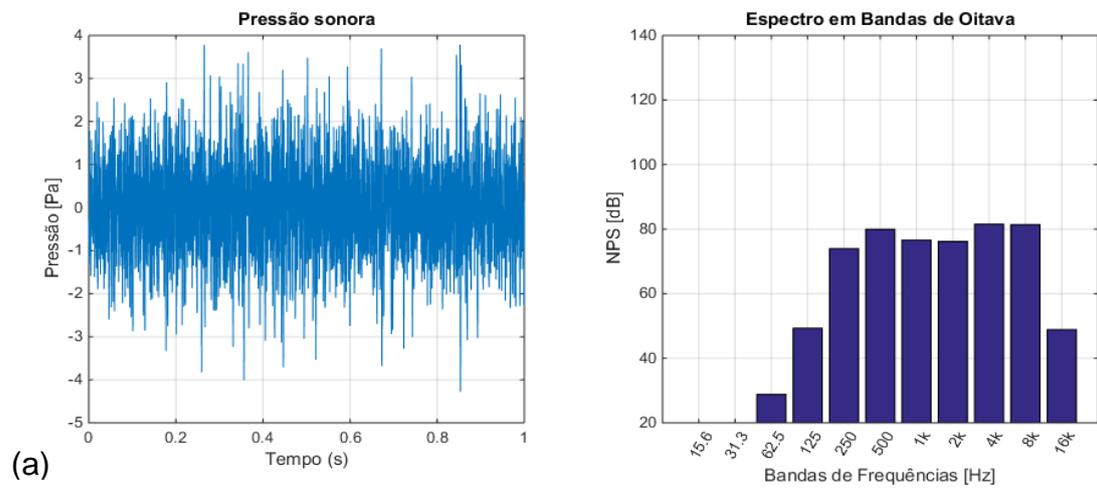
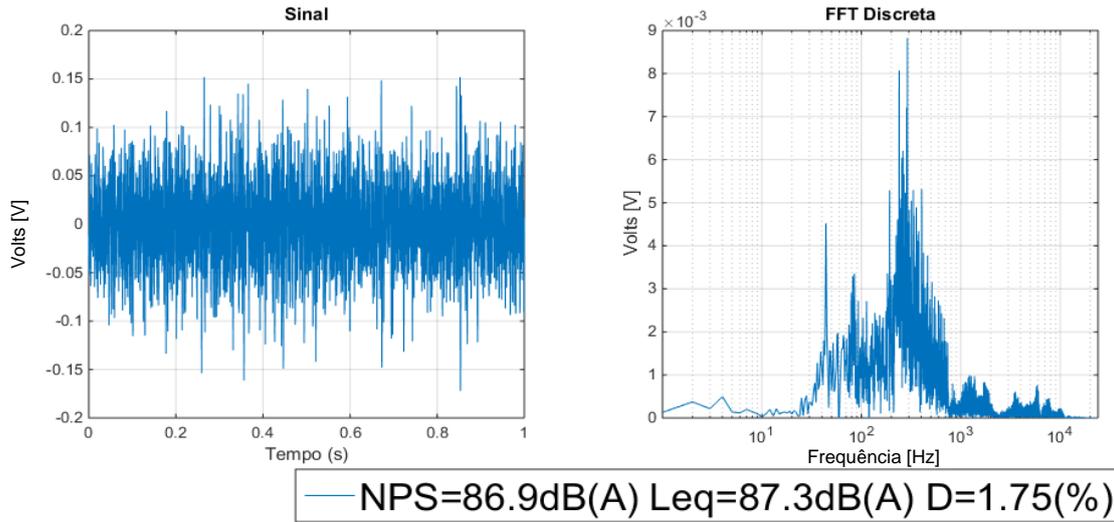
Figura 8 – (a) Curvas de correção para o microfone de eletreto utilizado. (b) Resultados após correções.

5.2 Medição em um ambiente com o sistema desenvolvido

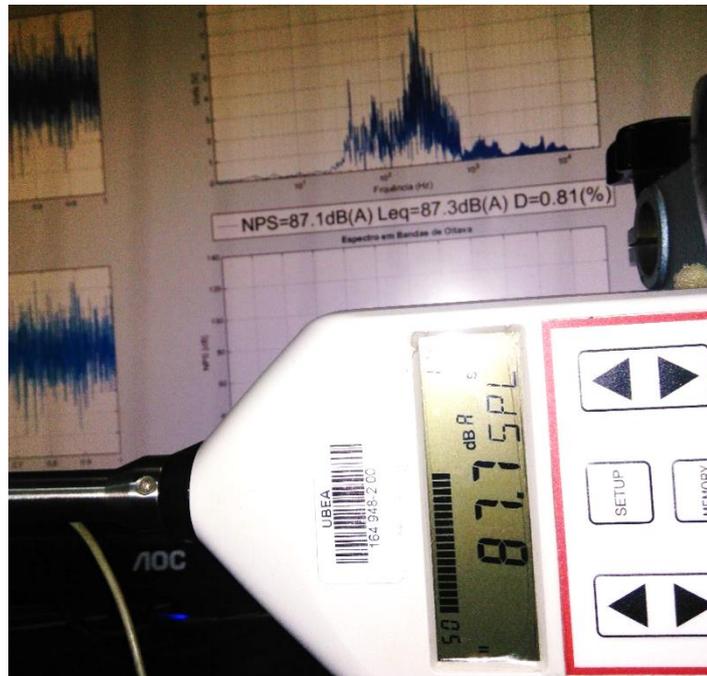
Para uma análise final do desempenho do sistema de medição, foram realizadas duas medições distintas, ambas com a aplicação da curva de ponderação “A”. A primeira delas teve duração de 5 minutos e foi executada em um ambiente com ruído aleatório onde também foi gerado um ruído com diferentes frequências. Na Figura 9(a) é mostrada uma captura de tela do sistema durante esta medição, com o valor de NPS, Leq, Dose e espectro em bandas de oitavas. No espectro de frequências é possível ver que o ruído do ambiente mensurado contém sons de variadas frequências, quase se equiparando à um ruído branco. A figura 9(b) representa o valor medido pelo decibelímetro comercial no mesmo instante. Percebe-se que a diferença entre os valores medidos pelos dois sistemas é inferior à 1dB, diferença esta que se manteve durante o transcorrer da medição, caracterizando assim um resultado de significativa precisão neste teste.

No segundo e último teste, colocou-se o sistema a medir uma sala com ruído ambiente na qual foram provocadas variações aleatórias para análise da resposta do sistema de medição. A figura 10(a) demonstra o espectrograma em três dimensões, exibindo a variação do nível de pressão sonora em cada uma das bandas de oitava ao longo dos dois minutos de duração do teste. Já na figura 10(b) é demonstrada a relação entre NPS e Leq no decorrer do teste. Como era esperado, o nível de ruído equivalente (Leq) aumenta na ocorrência de picos no NPS, por se tratar de uma acumulação do mesmo. A longo prazo o Leq tende a ter um comportamento constante desde que não ocorram variações muito significativas no NPS.

A figura A.5 do apêndice descreve como são salvos os dados das medições no arquivo em disco. A cada início de uma nova medição, data e hora são registrados no arquivo, que é então preenchido com os dados em tempo real, podendo este arquivo ser acessado remotamente via ferramenta de compartilhamento online.



(a)



(b)

Figura 9 – (a) Resultado final da medição de 5 minutos com o sistema proposto. (b) Leitura simultânea do decibelímetro comercial e sistema proposto em um certo tempo.

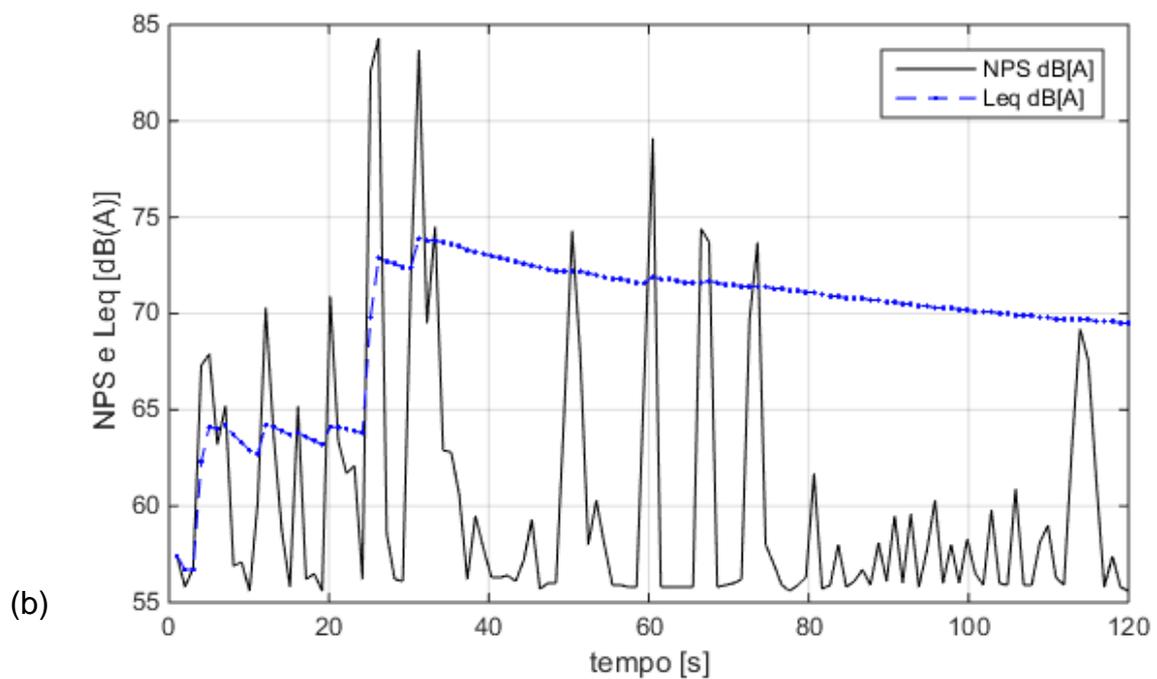
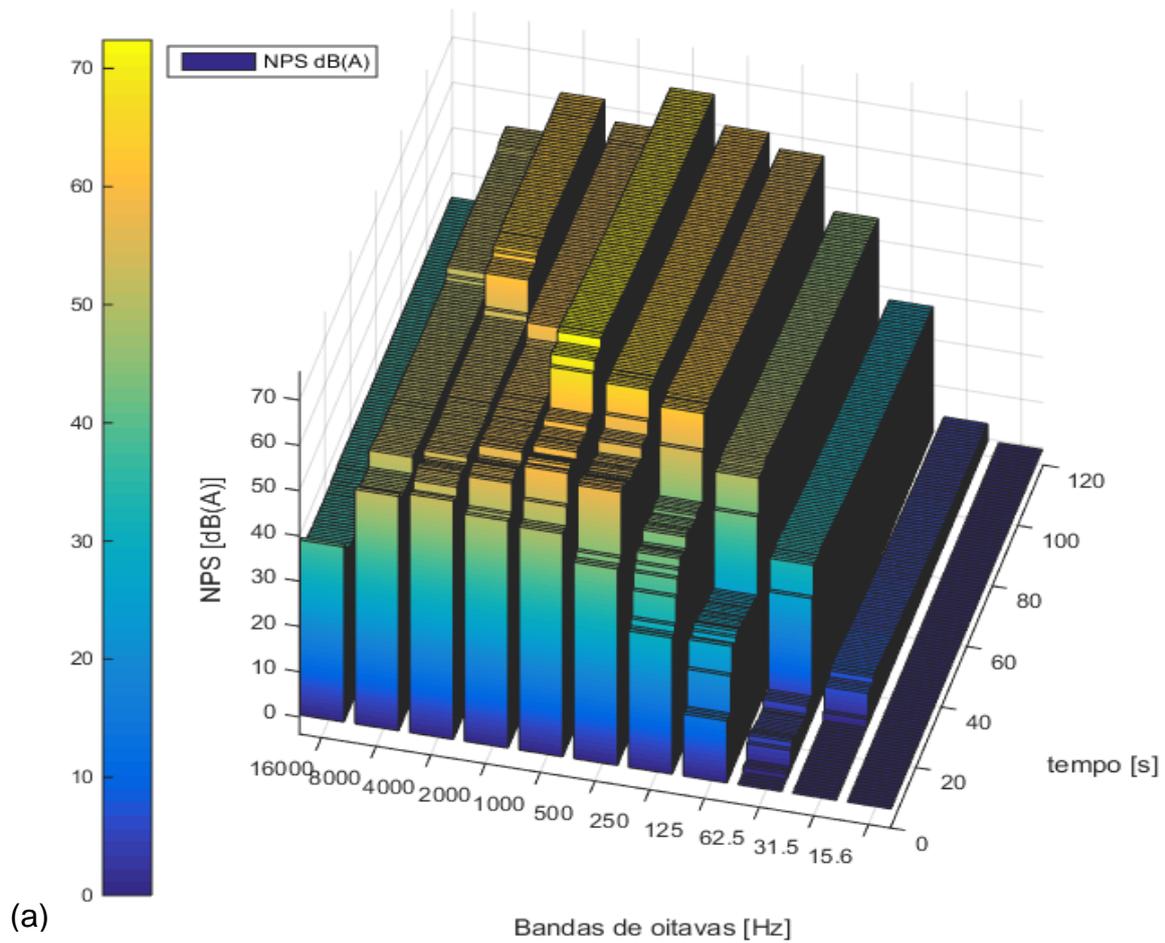


Figura 10 – Resultado da medição de 2 min com o sistema proposto em uma sala com ruído ambiente. (a) Espectrograma 3D (b) Histórico de NPS e Leq.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho propôs a construção de um sistema de medição acústica utilizando a placa de som de computador e microfones de eletreto. Um sistema de câmara em tubo de PVC, material absorvente acústico e alto-falante, semelhante ao encontrado na literatura, foi proposto e construído para a calibração por comparação e obtenção das curvas de correção para o microfone. Um decibelímetro comercial foi utilizado como padrão de comparação. Calibrações com o calibrador comercial assim como com o sistema proposto foram feitas e o software desenvolvido em Matlab testado. Valores para níveis de 94dB(Lin) e 114dB(Lin) para bandas de 250Hz e 1 kHz indicam a elevada precisão do sistema construído.

Os resultados apresentados são muito animadores em vista da baixa incerteza atingida com o sistema, uma vez feitas as calibrações e correções para a sensibilidade do microfone utilizado para as faixas de frequências. Dificuldades relacionadas ao ajuste dos parâmetros da placa de som do computador tornaram a calibração um pouco mais complicada, sendo colocados todos os controles nas posições máximas para que a calibração fosse efetuada.

Curvas de ponderação A, B, C e Lin foram implementadas e os respectivos espectros de frequência assim como Leq, e dose de ruído foram gravados continuamente permitindo análise posterior, à semelhança dos decibelímetros comerciais.

A medição do Leq em ambiente ruidoso pode ser feita por um tempo considerável juntamente com a gravação dos dados, resultando em valores muito próximos daqueles encontrados pelo equipamento comercial.

Tendo em vista o baixo custo de um microfone de eletreto aliado à fácil adaptação do sistema, que têm a possibilidade de ser instalado em qualquer computador, desde que seja feita a calibração do microfone, o sistema desenvolvido mostrou ser uma opção de bom custo-benefício. É interessante salientar que o sistema viabiliza a realização de medições acústicas de boa confiabilidade com baixo investimento, poupando a necessidade de um decibelímetro comercial de alto custo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American National Standard. “**ANSI S1.4 Specification for Sound Level Meters**”. American Institute of Physics for the Acoustical Society of America, New York, 1983.

ARTA. “**Arta chamber for the lower end microphone calibration**”, Audio Measurement and Analysis Software- Arta. Application Note No.5. 2006. <http://www.artalabs.hr/AppNotes/AP5_MikroMeasChamber-Rev03Eng.pdf>. Acessado em 01/10/2016.

Beckwith, T., Marangoni, R., Lienhard, J. “**Mechanical Measurements**”. 5th Ed., Massachusetts: Addison-Wesley, 1993.

Bruel & Kjaer. “**Measuring Sound**”. Technical report Booklet. Denmark, 1988. BR0047, <<https://www.bksv.com/media/doc/br0047.pdf>>, 42p. Acessado em 01/10/2016.

Gerges, S. N. Y. “**Ruído: fundamentos e controle**”. 2nd Ed. – Florianópolis: Ed. S.N.Y. Gerges, 2000.

Gomes, H. M. “**Notas de aulas em Engenharia de Segurança do Trabalho: Ruído e Vibrações**”, Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho, UFRGS, Edição 2015.

Iazzeta, F., Masiero, B. S. “**Estudo e implementação de métodos de medição de resposta impulsiva em salas de pequeno porte**”, Relatório final de iniciação científica. São Paulo, 2004. <http://gsd.ime.usp.br/acmus/publi/relat_medicao.pdf>. Acessado em 09/10/2016.

Lanman, D. R. “**Design of a Sound Level Meter**”, EN 253: Lecture Notes. Matlab Exercise No.3, 2005. <http://mesh.brown.edu/dlanman/courses/decibel_meter.pdf>, Acessado em 01/09/2016.

Masini, H. F., Teodoro, E. B., "Medição automática do coeficiente de absorção acústica de materiais". Horizonte Científico, V. 5, No.2, 21p., 2011.

Matlab, "**MATrix LABoratory, R2012a**". The MathWorks Inc., Natick, MA, 2000. <www.mathworks.com/>. Acessado em 01/09/2016.

Müller, G., Möser, M. "**Handbook of Engineering Acoustics: 2. Acoustic measurments**", Springer, 2013, 706p.

Müller, S. "**Novo Sistema para medições acústicas**", Anais do I Seminário Música Ciência e Tecnologia: Acústica Musical, IME Instituto de Matemática e Estatística, USP, 3-5 novembro de 2004, São Paulo pp.134-144, 2004.

Brasil, Ministério do Trabalho e Emprego, Portaria MTE n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014, "**NR-15 - Atividades Insalubres**", Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 6 julho de 1978. <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf>. Acessado em 13/10/2012.

Quest Technologies. "**Owner's Manual. Acoustic Calibrators QC-10 and QC-20**". Rev. 1. 13p. 2008.

Quest Technologies. "**Owner's Manual. Integrating and Logging Sound level Meter: Models 1900 and 2900**". Rev. F, 72p. 1998.

Realtek Semiconductor. "**5.1 High Definition Sound Card ALC662 Series datasheet**". JATR-1076-21, Rev. 1.3, 74p., 2009, <www.realtek.com>, Acessado em 01/10/2016.

Sound Technology, "**Spectralab432 Software manual**", Sound Technology Instrumentation softest. 2006. <<http://www.soundtechnology.com/LAB432.html>>, Acessado em 01/09/2016.

ANEXOS

Standards:	Model 1900 : Type 1 ; Model 2900 : Type 2 S1.4-1983, IEC 651-1979, IEC 804-1985.	A N S I
Measurement Range:	20 - 140dB in 7 60dB ranges with standard microphone. Model 1900 only: display range may be shifted upward in 10dB steps to 60 - 180dB by using optional microphones. The second peak detector operates over the range of -40 to +10dB relative to the top of the selected measurement range.	
Display:	4 Digit Liquid Crystal Display with an additional Quasi-Analog 60 dB indicator in 2 dB increments. Level display indicates to 0.1 dB resolution. Time display indicates either Min:Sec or Hr:Min. Annunciators are included for Battery Check, RUN, Pause, and Overload Indication.	
Measurements Performed:	Sound Pressure Level (SPL), Equivalent Level (LEQ or LAVG), Time Weighted Average (TWA), Maximum Level (LMAX), Minimum Level (LMIN), Percentile Levels (LN), Day/Night Level (LDN), Community Noise Exposure Level (CNEL), Overload Time (%OL), Exposure (PAZH), Sound Exposure Level (SEL), Taktmaximal (TAKM), and Run Time (RTxx). Optional C-A module allows simultaneous C-A weighted measurement of LEQ (or LAVG).	
Automatic Measurement Modes:	Programmed Run Duration, Level Triggered Run/Pause, Clock/Calendar Triggered Power on and run for programmed run duration.	
Minimum Measurement:	Meter only, with Model QE4146 Microphone -- 27 dBA. Various Weightings with an Octave Filter Set refer to Section 6.8. The minimum measurement varies depending on the filter frequency selected.	
Maximum Measurement:	With Model QE4146 Microphone -- 120 dB with 20 dB Crest Factor. (140 dB if measuring a sinusoidal signal.) Overload indication will occur if upper range is exceeded. Optional microphones may raise the upper measurement limit.	
Frequency Weighting Networks:	A, C, and Linear. When using a filter set, any one of the weightings may be selected.	
Meter Response:	Slow, Fast, Impulse, and Peak. (The Peak onset time constant is less than 50 microseconds). Peak measurements may be made in either A, C, or Linear Weighting. A second peak detector is included for logged measurements.	
Microphones:	Removable 1/2 inch prepolarized condenser (electret) microphone is standard. Optional 1/2 inch, one inch, and other microphones are available for the model 1900 only.	



Figura A.1 – Especificações técnicas do decibelímetro Quest Pro 1900 (Type 1).

Standards:	ANSI S1.40-1984 and IEC 942:1988 Class 1
Output Frequency:	QC-10: 1000 Hz QC-20: Selectable, 250 Hz, 1000 Hz $\pm 2\%$
Output Amplitude:	QC-10: 114 dB QC-20: Selectable, 94 dB (1 pascal) or 114 dB ref. 20 $\mu\text{N/m}^2$ (20 μPa)
Output Accuracy:	± 0.3 dB @ 20°C 760mmHg
Distortion:	Less than 1% within temperature and humidity operating ranges
Electrical Output:	1 volt RMS sine wave, $\pm 5\%$ (0.4 dB) Output impedance = 1000 ohms. Phone jack (1/8") compatible with Switchcraft 780 plug or equivalent.
Temperature:	Operating range -10 to +50°C. 1 KHz: within ± 0.3 dB from +5 to 50°C Below +5°C coefficient of SPL is 0.0 to +0.01 dB/°C ref. 20°C 250Hz: within ± 0.3 dB from +5 to 40°C Below +5°C coefficient of SPL is 0 to 0.02 dB/°C max ref. 20°C Storage temperature -40 to +65°C with battery removed.
Coupler Volume Coefficient:	A 1cc increase in coupler volume will result in a typical decrease in output of .27 dB @ 1kHz and .67 dB @ 250 Hz.
Humidity:	Relative humidity 5 to 95% with less than 0.1 dB



Figura A.2 – Especificações técnicas do calibrador QC-20 (Quest, 2008).

• D/A de seis canais (5.1) com suporte ao formato PCM 16/20/24-bit
• Dois canais estéreo A/D suporte 16/20-bit formato PCM
• Todos os D/A suportam taxa de amostragem independente de 44.1k / 48k / 96kHz
• Todos os A/D suportam taxa de amostragem independente de 44.1k / 48k / 96kHz
• Suporte à saída S/PDIF de 44,1k / 48k / 96kHz
• Suporte à entrada analógica PCBEEP
• Integração ao gerador digital BEEP
• Até quatro canais de entrada de microfone suportados para aplicação AEC / BF
• Três amplificadores <i>built-in</i> de fone de ouvido para porta-D (traseiro), porta-E e porta-F (frontal)
• Saída de referência de 2.5V e 3.2V selecionável por software para polarização de microfone
• Relação S/N 90dB
• Ganho de impulso selecionável pelo software (+10/+20/+30dB) para entrada de microfone analógico
• Dois conectores auto detectáveis jack: cada um suporta a detecção de até 4 entradas
• A função de detecção Jack é suportada quando o dispositivo está no modo de desligamento
• Suporta dois conectores GPIO (entrada e saída de uso geral)
• Suporte ao controle EAPD (amplificador externo) para amplificador externo
• Suporte 1.5V ~ 3.3V escalável E/S para ligação de áudio HD

Figura A.3 – Especificações técnicas da placa de som Realtek High Definition Sound Card ALC662.

APÊNDICES

Tabela A.1 – (a) Bandas de oitava e terços de oitava. (b) Níveis de ruído máximo em relação ao tempo de exposição (NR-15, 2014).

Bandas de oitava			Bandas de terços de oitava			Nível de Ruído dB (A)	Máxima exposição diária permissível
Limite Inferior (Hz)	Frequência central (Hz)	Limite superior (Hz)	Limite inferior (Hz)	Frequência central (Hz)	Limite superior (Hz)		
11	16	22	14.1	16	17.8	85	8 horas
			17.8	20	22.4	86	7 horas
			22.4	25	28.2	87	6 horas
22	31.5	44	28.2	31.5	35.5	88	5 horas
			35.5	40	44.7	89	4:30 horas
			44.7	50	56.2	90	4 horas
44	63	88	56.2	63	70.8	91	3:30 horas
			70.8	80	89.1	92	3 horas
			89.1	100	112	93	2:40 horas
88	125	177	112	125	141	94	2:15 horas
			141	160	178	95	2 horas
			178	200	224	96	1:45 hora
177	250	355	224	250	282	98	1:15 hora
			282	315	355	100	1 hora
			355	400	447	102	45 minutos
355	500	710	447	500	562	104	35 minutos
			562	630	708	105	30 minutos
			708	800	891	106	25 minutos
710	1000	1420	891	1000	1122	108	20 minutos
			1122	1250	1413	110	15 minutos
			1413	1600	1778	112	10 minutos
1420	2000	2840	1778	2000	2239	114	8 minutos
			2239	2500	2818	115	7 minutos
			2818	3150	3548		
2840	4000	5680	3548	4000	4467		
			4467	5000	5623		
			5623	6300	7079		
5680	8000	11360	7079	8000	8913		
			8913	10000	11220		
			11220	12500	14130		
11360	16000	22720	14130	16000	17780		
			17780	20000	22390		

(a)

(b)

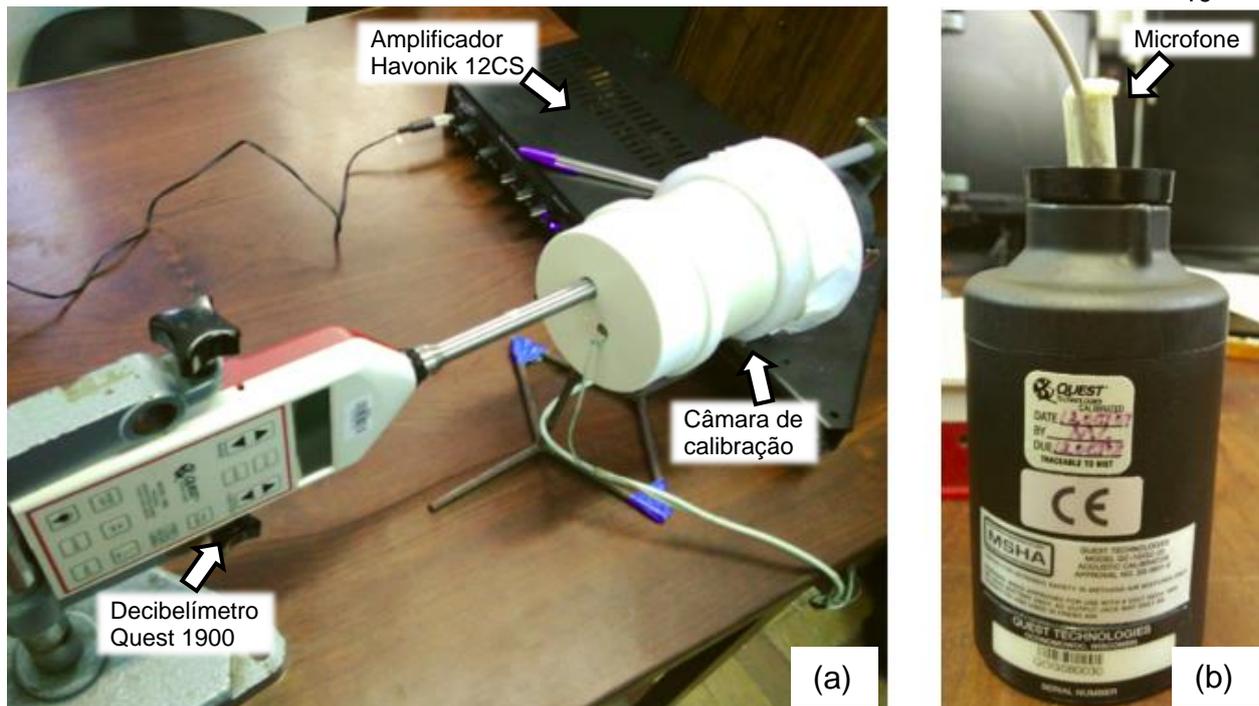


Figura A.4 – (a) Experimento de calibração com software de geração de sinais Spectralab. (b) Experimento de calibração com calibrador comercial Quest QC-20.

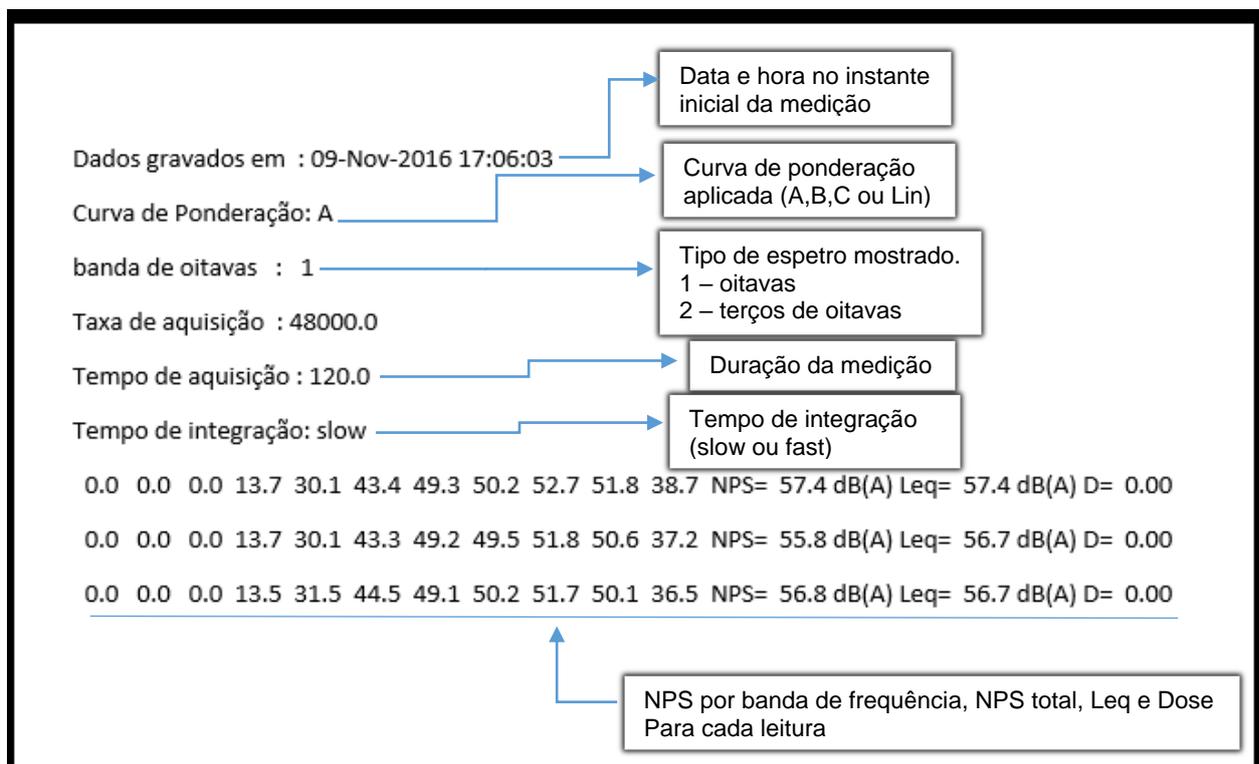


Figura A.5 – (a) Descrição do arquivo de dados gerado automaticamente pelo sistema no início de cada medição.