

MARCEL SCARPIM DE OLIVEIRA

**ESTUDO DO INTERVALO DE DISCRETIZAÇÃO DO HISTOGRAMA DE
RUÍDO**

**EPMI
ESP/EST-2010
OL4e**

**São Paulo
2010**

MARCEL SCARPIM DE OLIVEIRA

**ESTUDO DO INTERVALO DE DISCRETIZAÇÃO DO HISTOGRAMA DE
RUÍDO**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialista em Engenharia de
Segurança do Trabalho

São Paulo

2010

Dedico esse trabalho aos meus pais, que sempre acreditaram no seu filho, incentivando, provendo um ambiente saudável e propício ao crescimento da pessoa e do profissional e seu amor e carinho sempre presentes em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Sérgio Médici de Eston pelo apoio e constante estímulo no desenvolvimento desse trabalho.

Ao corpo docente do curso de especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da Escola Politécnica da USP pelo empenho e entusiasmo na transmissão dos conhecimentos.

Ao Grupo Biomédic pelo espaço e oportunidades cedidos.

À minha família.

RESUMO

O objetivo desse trabalho é estudar o intervalo de discretização a ser utilizado no cálculo do LEQ pelo método do histograma para ruídos ambientais. A problemática do intervalo de discretização utilizado na elaboração do histograma de ruído é abordada com o intuito de determinar um intervalo que seja aplicável na prática e, seguindo o método do histograma, aproxime o valor real do nível equivalente (LEQ). A metodologia consiste no desenvolvimento de um programa no *MATLAB* (Matrix Laboratory) que gera distribuições temporais arbitrárias de ruído e faz a comparação dos valores calculados pelo método do histograma com seu valor numérico. Para tanto foram utilizados os intervalos de 15, 10, 7.5, 5.0 e 2.5 dB para o cálculo do LEQ e comparando-se com seu respectivo valor numérico pôde-se concluir, entre outros, a aplicabilidade desses intervalos para as distribuições temporais de ruído.

Palavras-Chave: Ruído Ambiental; Histograma de Ruído; Intervalo de Discretização.

ABSTRACT

The object of this work is to study the discretization interval that is used in the calculation of ESL (Equivalent Sound Level) by the histogram method. The problem of discretization interval used in the preparation of the noise histograms is discussed in order to determine a range that is applicable in practice and, following the histogram method, approximates the real value of ESL. The methodology is to develop a program in the software *MATLAB* (Matrix Laboratory) that generates arbitrary temporal distributions of noise and compares the values calculated by the histogram method and its numerical value. Therefore were used the intervals 15, 10, 7.5, 5.0 and 2.5 dB for the calculation of the ESL and comparing it with corresponding numerical value was possible to conclude, inter alia, the applicability of these ranges for the temporal noise distributions .

Keywords: Environmental Noise; Noise Histogram; Discretization Interval.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Distribuições de ruído X Ponto médio.....	02
FIGURA 2 – Discretização pelo Método dos Elementos Finitos.....	06
FIGURA 3 – Histograma de nível de pressão sonora.....	07
FIGURA 4 - Ruído Ambiental difícil determinação analítica.....	09
FIGURA 5 – Esquema de um sistema de aquisição de sinais.....	10
FIGURA 6 – Exemplo 1 de Ruído Ambiental.....	11
FIGURA 7 – Exemplo 2 de Ruído Ambiental.....	12
FIGURA 8 – Exemplo 3 de Ruído Ambiental.....	12
FIGURA 9 – Ruído Ambiental.....	14
FIGURA 10 – Ruído Real x Histograma (15 dB(A))	15
FIGURA 11 – Ruído Real x Histograma (10 dB(A))	15
FIGURA 12 – Ruído Real x Histograma (7.5 dB(A))	16
FIGURA 13 – Ruído Real x Histograma (5 dB(A))	16
FIGURA 14 – Ruído Real x Histograma (2.5 dB(A))	17
FIGURA 15 – Níveis de Ruído Numérico X Histograma.....	18
FIGURA 16 – Gráfico de Ruído Ambiental.....	19
FIGURA 17 – Ruído Real x Histograma (15 dB(A))	20
FIGURA 18 – Ruído Real x Histograma (10 dB(A))	20
FIGURA 19 – Ruído Real x Histograma (7.5 dB(A))	21
FIGURA 20 – Ruído Real x Histograma (5 dB(A))	21
FIGURA 21 – Ruído Real x Histograma (2.5 dB(A))	22
FIGURA 22 – Níveis de Ruído Numérico X Histograma.....	23
FIGURA 23 – Dispersão e média em um intervalo randômico.....	24
FIGURA 24 – Ruído 10 % - 90%.....	25
FIGURA 25 – Ruído 20 % - 80%.....	25
FIGURA 26 – Ruído 30 % - 70%.....	26
FIGURA 27 – Ruído 40 % - 60%.....	26
FIGURA 28 – Ruído 50 % - 50%.....	27
FIGURA 29 – Ruído 20 % - 80% para 60 e 65 dB(A).....	28
FIGURA 30 – Nível equivalente de ruído abaixo do ponto médio.....	30
FIGURA 31 – Nível equivalente de ruído aproximado pelo ponto médio.....	30
FIGURA 32 – Nível equivalente de ruído abaixo do ponto médio.....	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Limites de exposição ocupacional de ruído.....	05
TABELA 2 – Níveis de Critério de Avaliação para ambientes externos.....	05
TABELA 3 – Níveis de Ruído Numérico X Histograma.....	17
TABELA 4 – Níveis de Ruído Numérico X Histograma.....	22
TABELA 5 – Aumento do LEQ com o valor do Pico.....	29
TABELA 6 – Pontos Médios.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LEQ – Nível Equivalente

LEQ_N – Nível Equivalente Numérico

MATLAB – Matrix Laboratory

PECE-USP – Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da USP

ESL – Equivalent Sound Level

NCA – Nível de Critério de Avaliação

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
dB(A)	Decibel medido na curva de ponderação A

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
1.1 Contextualização	01
1.2 Objetivo	02
1.3 Justificativa	02
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
2.1 Ruído	04
2.1.1 Ruído Ocupacional X Ruído Ambiental	04
2.2 Domínio Contínuo X Domínio Discreto	06
2.3 MATLAB	06
2.4 Método do Histograma	07
3 METODOLOGIA	09
4 RESULTADOS	14
5 DISCUSSÕES	24
6 CONCLUSÃO	34
7 REFERÊNCIAS	35
8 APÊNDICE	36
8.1 Apêndice I – Código Fonte	36
8.2 Apêndice II – Distribuições Temporais de Ruído	41
8.3 Apêndice III – Cálculo Numérico do nível equivalente (LEQ)	42

1 INTRODUÇÃO

O método do histograma trata-se de um método prático utilizado para o cálculo do nível equivalente de ruído (LEQ) de ruídos ambientais. Nesse método utiliza-se um intervalo arbitrário pré-definido onde os valores contidos no mesmo são agrupados e representados pelo seu ponto médio, criando-se, dessa maneira, uma distribuição discreta de ruído.

Usualmente é utilizado o intervalo de 5dB para essa discretização. Contudo, não foram encontrados estudos de qualquer natureza especificando seu escopo ou limitações de uso.

A motivação desse estudo é estudar o intervalo de discretização utilizado no método do histograma visando determinar parâmetros para sua escolha e utilização. Deseja-se inferir a relação entre o intervalo de discretização e o valor do nível equivalente de ruído calculado pelo método de forma a permitir a escolha de um intervalo que represente de maneira satisfatória o ruído real e seja aplicável na prática.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O problema do ruído ambiental tem aumentado severamente ao decorrer dos anos. Segundo PECE-USP (Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica) (2009) já em 1979 um estudo indicava que mais de 40% da população americana estava sujeita regularmente a ruídos que afetavam suas atividades e causavam algum tipo de incômodo.

Uma característica intrínseca do ruído ambiental é que esse varia muito com o tempo. Seu nível é alterado a cada momento. Por exemplo em uma área residencial próxima a uma via com grande movimentação em poucos minutos é possível ouvir o ruído de uma moto de 95 dB(A), de um caminhão passando com 75 dB(A) e o ruído de fundo de 50 dB(A).

Outro aspecto importante é que os tempos de exposição são muito grandes e os níveis sonoros em geral são menores que os obtidos na Higiene Ocupacional (que podem causar danos auditivos). Sendo assim o ruído ambiental possui caráter subjetivo, variando de pessoa para pessoa os limites toleráveis ao "incômodo".

Devido a essas características a fixação de um limite máximo ou nível equivalente torna-se complexa e controversa. Um dos métodos utilizados na caracterização do ruído ambiental é o histograma de ruído. Nele o ruído contínuo é discretizado por um intervalo

arbitrário pré-estabelecido e aproximado pela média entre os extremos do intervalo. Possui em sua abscissa e ordenada respectivamente o nível sonoro (LP) e a porcentagem do tempo (frequência).

O histograma de ruído é um método prático que permite avaliar quais níveis sonoros afetam por mais tempo a comunidade, permitindo regulamentar por quanto tempo um dado nível de ruído é admissível.

1.2 OBJETIVO

Esse estudo objetiva estudar o intervalo arbitrário de discretização do histograma de ruído, comparando-o com seu valor exato (computacional numérico), e concluir qual a melhor alternativa para fins reais.

1.3 JUSTIFICATIVA

O cálculo do nível equivalente de pressão sonora pelo método do histograma desconsidera as flutuações que o nível de ruído possa ter dentro do seu intervalo de discretização. Nessa aproximação informações são perdidas e o resultado final do nível sonoro possui um intervalo de incerteza. Para entender melhor esse fato basta imaginar que diversas distribuições distintas de ruído ao longo de um intervalo são aproximadas pelo mesmo valor (ponto central). A figura 01 (Distribuição de Ruído X Ponto Médio) ilustra esse fenômeno.

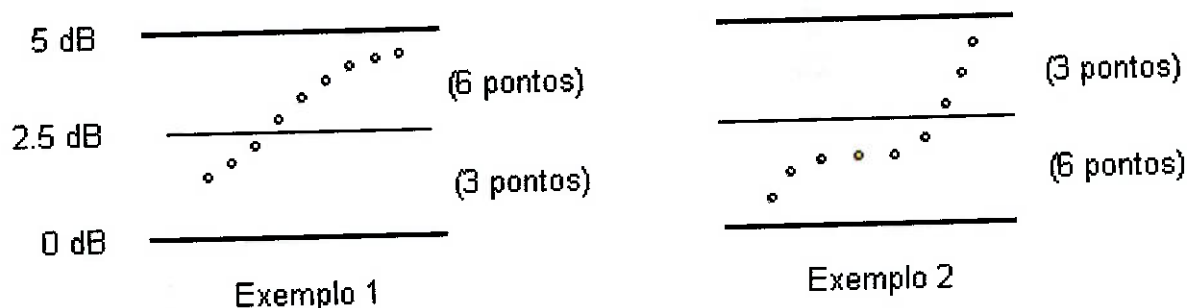


Figura 1 – Distribuições de ruído X Ponto médio

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

No exemplo 1 da figura acima, a maior concentração de valores está entre 2.5dB e 5dB (6 pontos), o que acarretaria um nível equivalente de ruído (LEQ) para essa

distribuição entre 2.5 dB e 5 dB. Analogamente, o exemplo 2 possui maior concentração de pontos na faixa de zero a 2.5dB (6 pontos). Contudo o método do histograma consideraria 2.5 dB para o cálculo do LEQ para ambas distribuições que possuem características claramente distintas.

No exemplo acima fica clara a perda de informação que a simplificação pelo método do histograma pode acarretar. Sendo assim, o conhecimento sobre as consequências da escolha do intervalo de discretização utilizado no método do histograma de ruído, suas limitações e escopo de utilização são fundamentais para obter-se um nível equivalente satisfatório e próximo ao real.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Primeiramente é necessário revisar alguns conceitos básicos para o entendimento do estudo que segue.

2.1 RUÍDO

Todo ruído é um som, e todo som é uma vibração no limiar audível (20 Hz a 20 kHz). Segundo Bistafa (2006) som é a sensação produzida no sistema auditivo e ruído é um som sem harmonia, em geral com conotação negativa. Dessa forma o ruído pode ser entendido como um som indesejável.

O conceito de indesejável é relativo. Tomemos o exemplo contido em Bistafa (2006, p.05) onde o som de um helicóptero pode ser entendido como um ruído se a circunstância fosse tentar dormir. Contudo seria qualificado como desejável no caso de um náufrago, em um bote salva-vidas, no meio do Oceano Atlântico. Sendo assim a definição de ruído depende do contexto.

Também é possível obter informações úteis de sons qualificados como ruídos como por exemplo um ruído de máquina. Seu ruído pode indicar algum modo de falha. O sistema auditivo de um mecânico pode revelar se o motor de um automóvel está funcionando corretamente.

Contudo, de maneira geral, os ruídos geram efeitos adversos como, em níveis suficientemente elevados, perda auditiva, perturbação do sono, stress, entre outros.

2.1.1 RUÍDO OCUPACIONAL X RUÍDO AMBIENTAL

O ruído é um dos principais agentes físicos presentes no ambiente de trabalho. Possui limites de exposição objetivos e são definidos, segundo ABHO (2007, p.123), como “[...]os quais acredita-se que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta repetidamente, sem sofrer efeitos adversos à capacidade de ouvir e entender uma conversa normal[...]”.

A tabela 1 (Limites de exposição ocupacional de ruído) mostra os limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente preconizados na Norma Regulamentadora 15 do Ministério do Trabalho e Emprego.

Tabela 1 – Limites de exposição ocupacional de ruído

NÍVEL DE RUÍDO dB (A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: Norma Regulamentadora 15 do Ministério do Trabalho e Emprego

Em contrapartida o ruído ambiental é o ruído típico de uma comunidade. Nele há uma superposição de ruídos, normalmente de naturezas diferentes e origens distintas, dentre os quais, de maneira geral, nenhum é objeto de interesse ou consideração específica.

Possuem níveis de critério de avaliação (NCA) definidos pela NBR (Norma Brasileira) 10151 – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade, listados na tabela 2 (Níveis de Critério de Avaliação para Ambientes externos) abaixo.

Tabela 2 – Níveis de Critério de Avaliação para ambientes externos

Tipo de Áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios ou fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10151 – Avaliação do ruído em áreas habitadas

2.2 DOMÍNIO CONTÍNUO X DOMÍNIO DISCRETO

Segundo Ogata (1985), domínio contínuo é o domínio matemático onde temos o domínio representado por infinitos pontos. Em contrapartida o domínio discreto é o domínio da representação onde temos o domínio contínuo representado por um conjunto de pontos.

Comumente o domínio contínuo é descartado e utiliza-se o domínio discreto na resolução de problemas de engenharia.

Um exemplo da discretização do domínio contínuo é a aplicação do método dos elementos finitos. A figura 2 (Discretização pelo Método dos Elementos Finitos) abaixo ilustra a aplicação desse método.

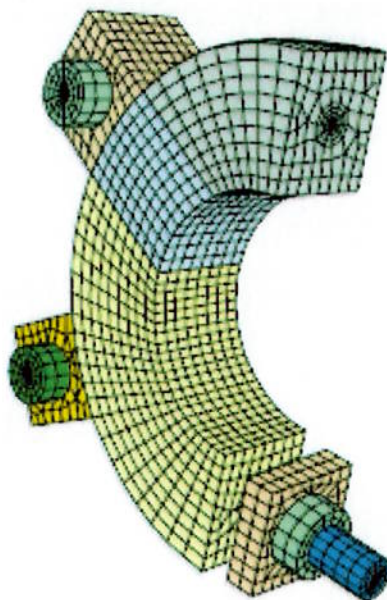


Figura 2 – Discretização pelo Método dos Elementos Finitos

Fonte: Introduction to Finite Element Methods (ASEN 5007), University of Colorado (2009)

2.3 MATLAB

O MATLAB (Matrix Laboratory) é um software interativo de linguagem de alto nível voltado para o cálculo numérico. O MATLAB integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos onde problemas e soluções são expressos somente como eles são escritos matematicamente, ao contrário da programação tradicional.

Segundo a página do desenvolvedor, o MATLAB foi criado no fim dos anos 1970 por Cleve Moler, então presidente do departamento de ciências da computação da Universidade do Novo México. Ela logo se espalhou para outras universidades e encontrou um forte uso no âmbito da comunidade matemática aplicada. Jack Little, um engenheiro, conheceu a linguagem MATLAB durante uma visita feita por Moler a Universidade de Stanford em 1983. Reconhecendo o seu potencial comercial, ele juntou-se a Moler e Steve Bangert. Juntos reescreveram o MATLAB em C, em 1984 fundaram a MathWorks e prosseguiram no seu desenvolvimento. As bibliotecas reescritas ficaram conhecidas como LAPACK.

MATLAB foi adotado pela primeira vez por engenheiros de projeto de controle, a especialidade de Little, e rapidamente se espalhou para outros campos de aplicação. Agora, é também utilizado nas áreas da educação, em especial o ensino da álgebra linear e análise numérica, e é muito popular entre os cientistas envolvidos com o processamento de imagem.

2.4 MÉTODO DO HISTOGRAMA

Segundo PECE (2009), o método do histograma é uma ferramenta prática utilizada para o cálculo do nível equivalente de ruído (LEQ) onde ocorre a discretização da distribuição temporal de ruído. A distribuição contínua é representada por intervalos de ruído e pela freqüência (porcentagem do tempo) de ocorrência dos mesmos concentrados em seu ponto central. A figura 3 (Histograma de nível de pressão sonora) abaixo ilustra um histograma agrupado em intervalos de 5 dB.

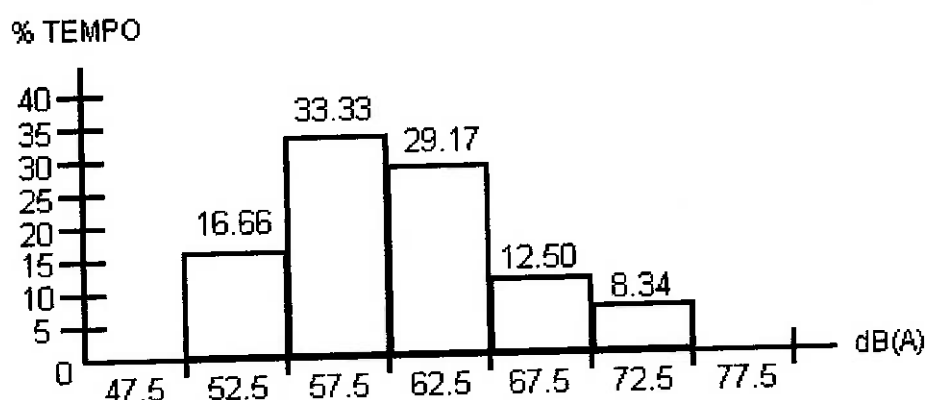


Figura 3 – Histograma de nível de pressão sonora

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Com posse desses dados é possível aplicar a equação (1) a seguir e obter-se o nível equivalente de pressão sonora numérico.

$$L_{eq} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^N f_i \cdot 10^{L_{p_i}/10} \right] \text{ dB} \quad (1)$$

Fonte: Bistafa (2006)

Onde:

N = Número de intervalos

F_i = Fração do tempo em que o nível sonoro atingiu o i-ésimo intervalo

L_i = Ponto central do intervalo i

A equação (1) trata-se de uma simplificação para o domínio discreto (caso particular) da equação (2) válida para distribuições contínuas de ruído.

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_p(t)/10} dt \right] \text{ dB} \quad (2)$$

Fonte: Bistafa (2006)

Onde:

T = Limite superior de integração (definido no tempo)

L_p(t) = Nível de pressão sonora no instante t

3 METODOLOGIA

Para ser possível o estudo do intervalo de discretização do histograma de ruído, é necessária uma distribuição temporal típica de ruído ambiental. Existem duas maneiras de obter-se essa distribuição: Via analítica (matemática) ou amostragem.

A obtenção analítica do ruído ambiental apresenta grande dificuldade devido às suas características de grande variação, trechos de inflexão e pontos de descontinuidade ("bicos"). A figura 4 (Ruído Ambiental difícil determinação analítica) traz um típico ruído ambiental com essas características.

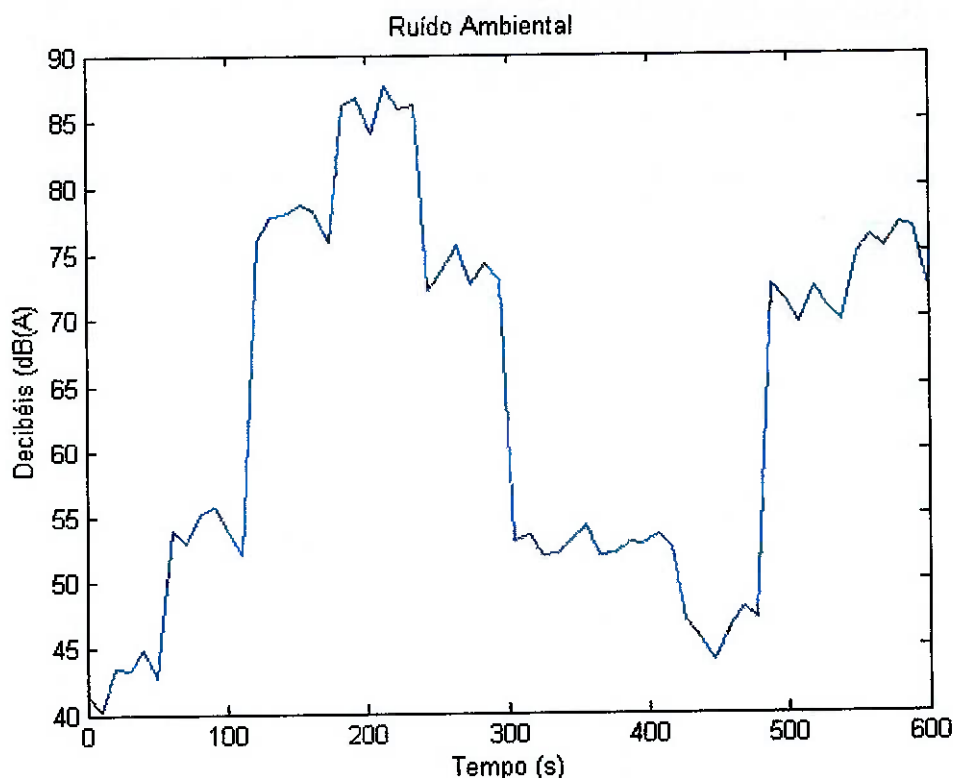


Figura 4 - Ruído Ambiental difícil determinação analítica

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Outra alternativa é a obtenção prática (amostragem) de um ruído ambiental. Toda amostragem seja ela de ruído ou qualquer outro sinal, de maneira geral segue o esquema abaixo:

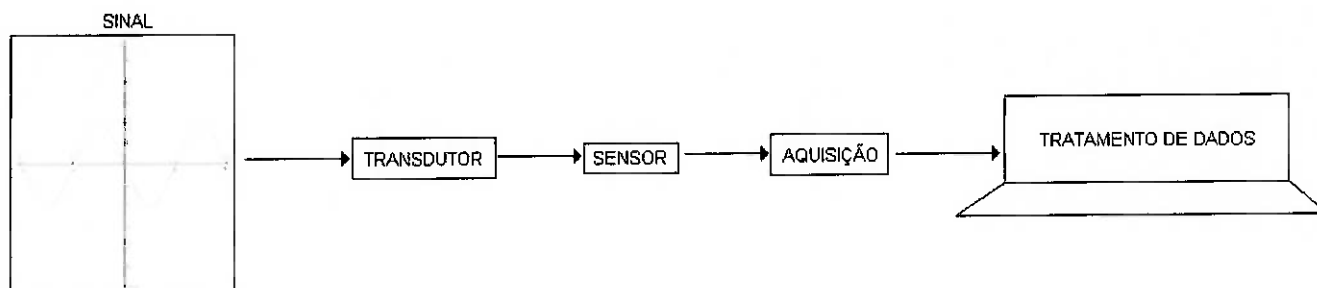


Figura 5 – Esquema de um sistema de aquisição de sinais

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Para o sistema acima podemos definir:

SINAL: É o dado de interesse do estudo.

TRANSDUTOR: É um dispositivo que recebe um sinal e o retransmite, independente da conversão de energia.

SENSOR: É um dispositivo que detecta um sinal.

AQUISIÇÃO: É o sistema que adquire os sinais e gera dados que podem ser manipulados pelo sistema de tratamento de dados.

TRATAMENTO DE DADOS: É toda a manipulação dos dados experimentais.

Podemos fazer uma analogia do sistema acima com um sistema de aquisição de ruído:

SINAL: Variação de pressão sonora no ambiente (ruído).

TRANSDUTOR: Microfone do medidor de pressão sonora.

SENSOR: Detector do medidor de pressão sonora.

AQUISIÇÃO: Placa de aquisição ou circuito integrado.

TRATAMENTO DE DADOS: Manipulação computacional dos dados aqisitados.

Seguindo essa metodologia, o sinal contínuo seria amostrado com uma frequência de amostragem pré-estabelecida e forneceria um conjunto de pontos (matriz) para a aplicação do método (tratamento de dados). Contudo, encontrou-se um problema prático para a aplicação dessa metodologia devido aos medidores de pressão sonora do mercado não fornecerem os dados de maneira que seja possível sua manipulação computacional. De maneira geral são fornecidos gráficos e valores de níveis equivalentes (após a fase de tratamento de dados).

Para a aplicação do método via amostragem seria necessário o desenvolvimento de um sistema de detecção, aquisição e tratamento dos dados.

Devido a esses fatores, encontrou-se um problema prático para o estudo do intervalo de discretização do histograma que foi a obtenção de distribuições temporais de ruído de forma que pudessem ser manipuladas pelo sistema de tratamento de dados (MATLAB).

Como solução a esse problema elaborou-se no programa MATLAB uma função randômica que gera ruídos ambientais com características arbitrárias (faixa de distribuição do ruído arbitrada pela programação) e aleatórias (devido a natureza da função do Matlab utilizada – “rand”). Dessa maneira foi possível obter um universo ilimitado de distribuições temporais de ruído para estudo.

Seguem abaixo nas figuras 6 (Exemplo 1 de Ruído Ambiental), 7 (Exemplo 2 de Ruído Ambiental) e 8 (Exemplo 3 de Ruído Ambiental) algumas distribuições de ruído geradas pelo programa.

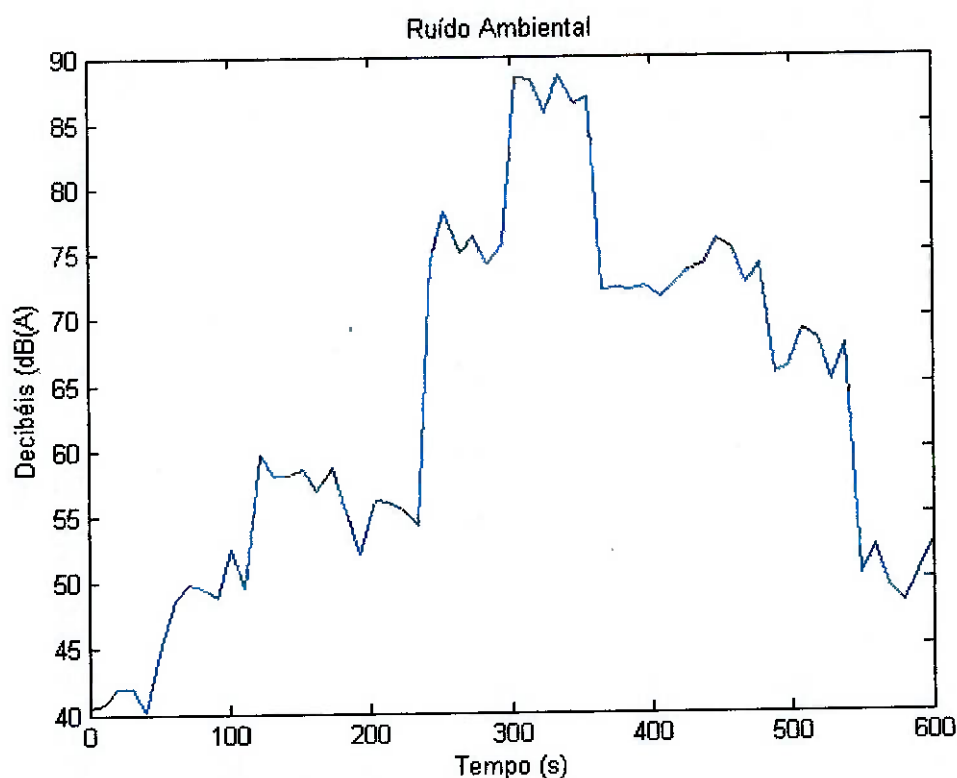


Figura 6 – Exemplo 1 de Ruído Ambiental

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

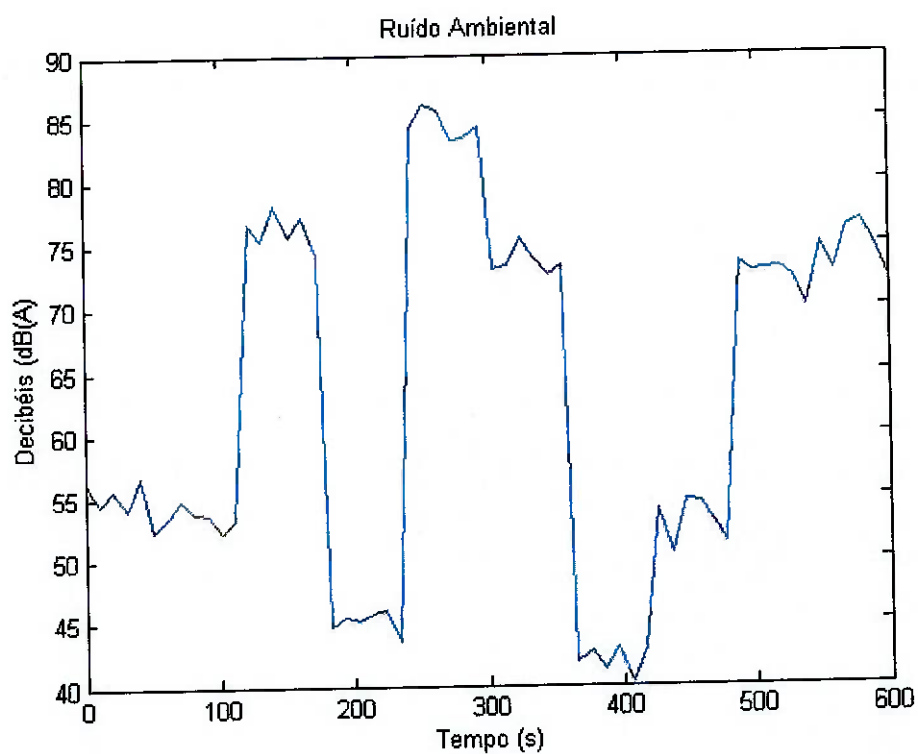


Figura 7 – Exemplo 2 de Ruído Ambiental

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

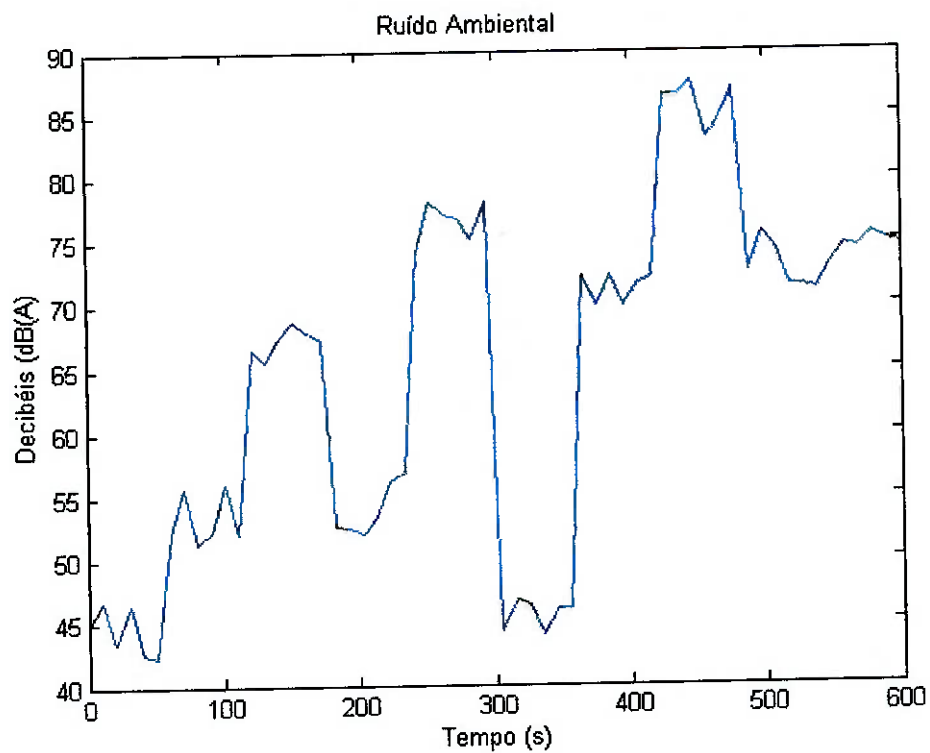


Figura 8 – Exemplo 3 de Ruído Ambiental

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

A obtenção dos gráficos acima deu-se graças ao trecho do código fonte apresentado no apêndice 2. Nele é possível ver as especificações aleatórias e arbitrárias das distribuições de ruído geradas.

Com as linhas descritas no apêndice 2 é possível gerar infinitos gráficos de ruído (devido sua característica aleatória – função “*rand*” do MATLAB) com intervalo de discretização conhecido. Sendo assim é possível obter uma matriz [X,Y] que permitirá o cálculo do LEQ numericamente, ou seja, ponto a ponto. O valor obtido será referência para a comparação com o método do histograma.

A grande vantagem de se ter um número ilimitado de gráficos de ruído para estudo é a diminuição dos erros aleatórios (dispersos simetricamente em torno do valor real) inerentes ao processo. Todos os resultados apresentados a seguir são uma média entre diversas distribuições geradas para um mesmo intervalo de discretização para o método do histograma.

O cálculo do LEQ pode ser feito numericamente segundo a equação (1) que equivale às linhas apresentadas no apêndice 3 aplicadas no MATLAB.

Uma vez solucionado o problema da obtenção de distribuições temporais de ruído e o cálculo do seu valor numérico, o próximo passo foi desenvolver para cada distribuição de ruído gerada o método do histograma. Escolheu-se, para cada distribuição de ruído gerada, os intervalos de 15, 10, 7.5, 5 e 2.5 dB para o desenvolvimento do método. A escolha dos intervalos visa abranger um grande número de opções de escolha, de 2.5 a 15 dB.

A escolha do valor superior, 15 dB, foi devido a esse valor se demasiado grande e supõe-se que nenhum valor superior a ele seja utilizado na prática do método. A escolha do limite inferior 2.5 dB foi devido a esse número ser a metade do valor usualmente empregado na prática (5 dB) e acarretaria o dobro do esforço visto que implicaria no dobro de intervalos de agrupamento e porcentagens de tempo que o intervalo de 5 dB.

Após os cálculos dos valores numéricos e do nível equivalente para os intervalos pelo método do histograma é possível a comparação dos valores obtidos.

4 RESULTADOS

Para a análise dos intervalos de discretização foi gerada a distribuição de ruído ambiental da figura 9 (Ruído Ambiental) abaixo que varia de 40 a 85 dB(A):

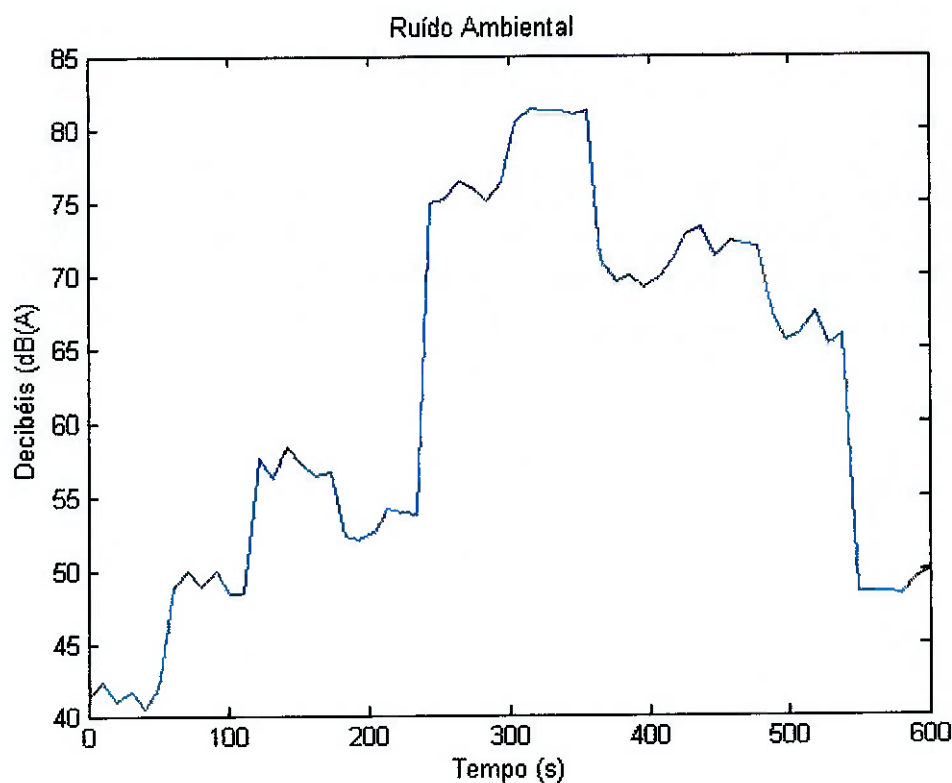


Figura 9 – Ruído Ambiental

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Arbitrou-se essa variação por se tratar de uma variação ampla que abrange grande parte dos valores que um ruído ambiental típico pode assumir.

Para facilitar a comparação entre os diversos intervalos de discretização, as figuras 10 (Ruído Real x Histograma (15 dB(A))), 11 (Ruído Real x Histograma (10 dB(A))), 12 (Ruído Real x Histograma (7.5 dB(A))), 13 (Ruído Real x Histograma (5 dB(A))) e 14 (Ruído Real x Histograma (2.5 dB(A))) abaixo ilustram a interpretação do método do histograma do ruído real para cada intervalo de discretização. Os gráficos mostram como o método interpreta a distribuição de ruído real e qual o gráfico efetivamente considerado no cálculo do nível equivalente de ruído.

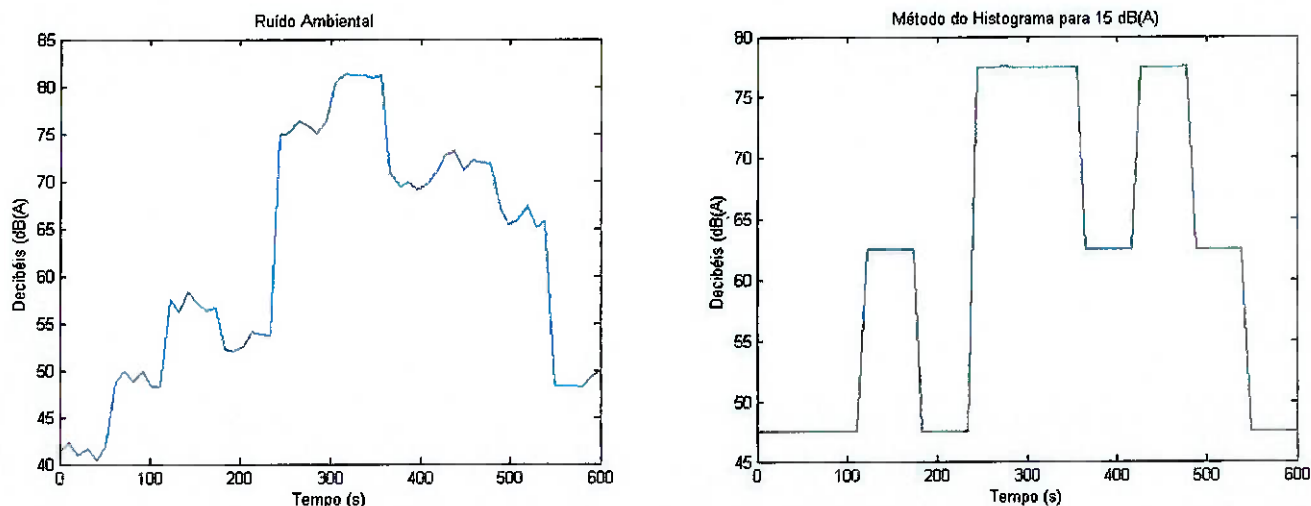


Figura 10 – Ruído Real x Histograma (15 dB(A))

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Como pode-se ver a representação do ruído original pelo método do histograma utilizando o intervalo de discretização de 15 dB(A) não consegue detectar todos os picos e também não aproxima seus valores com precisão. Diversos intervalos foram perdidos, como por exemplo a variação de 40 a 50 dB entre os intervalos de tempo de $t = 50$ e $t = 100$ segundos.

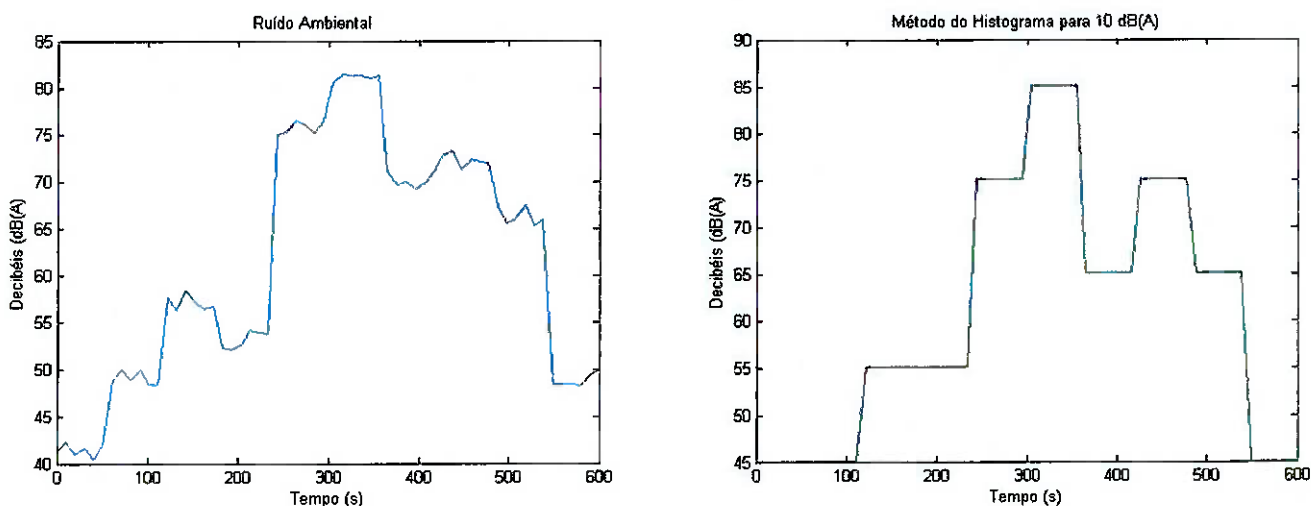


Figura 11 – Ruído Real x Histograma (10 dB(A))

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

A aproximação com intervalo de 10 dB(A) mostra-se mais adequada que a anterior, contudo também é nítida a perda de informação, a discrepância entre as curvas e o erro dos valores aproximados.

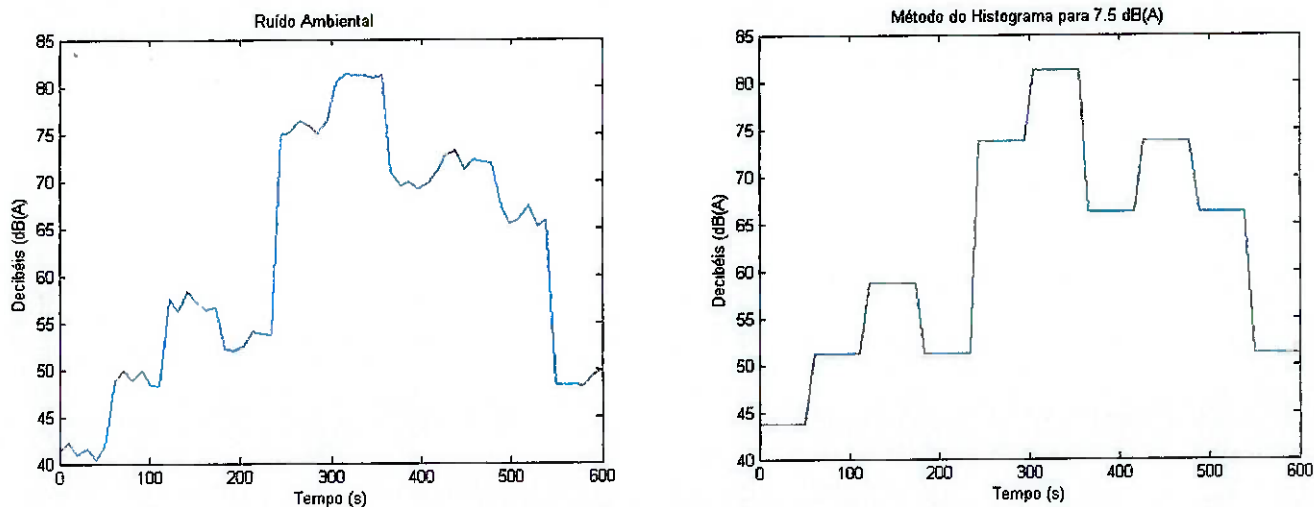


Figura 12 – Ruído Real x Histograma (7.5 dB(A))

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Na representação com intervalo de discretização de 7.5 dB(A) a distribuição de ruído aproximada pelo método do histograma começa a tomar uma forma que assemelha-se da distribuição real e os grandes picos conseguem ser notados.

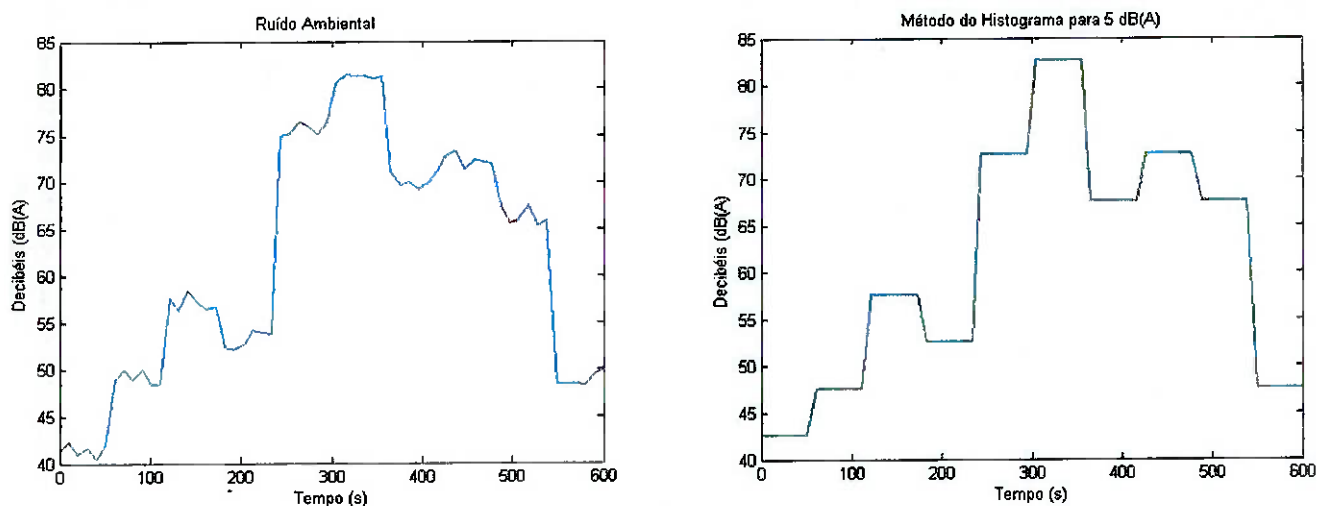


Figura 13 – Ruído Real x Histograma (5 dB(A))

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Para o intervalo de 5 dB(A) analogamente ao caso anterior a curva aproximada pelo método possui forma similar ao ruído real, os grandes picos são percebidos e a aproximação pelo valor médio do intervalo representa melhor o ruído ambiental original.

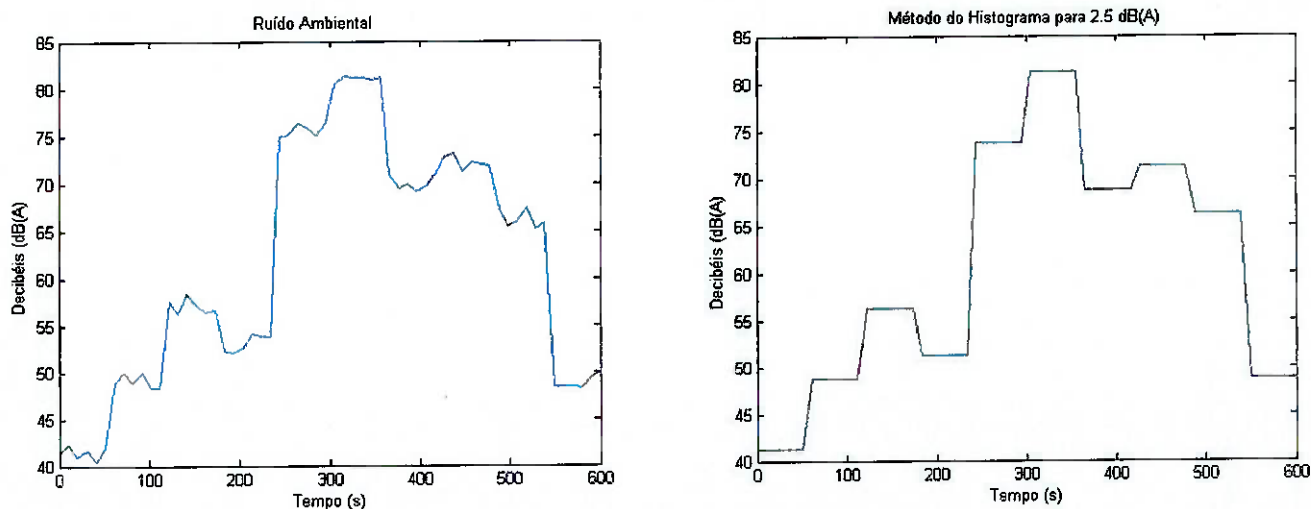


Figura 14 – Ruído Real x Histograma (2.5 dB(A))

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Já para o intervalo de 2.5 dB(A) a curva aproximada pelo método do histograma possui todas as características listadas para o intervalo de 5 dB(A) com a vantagem de alocar melhor os valores das retas que aproximam o ruído original por disponibilizar intervalos menores para a alocação desse intervalo.

Extrapolando esse raciocínio no limite teremos a aproximação exata da curva. A questão é determinar qual o valor mínimo de discretização necessário para uma aproximação razoável da curva (e dessa maneira do LEQ) de forma que seja aplicável na prática.

Na tabela 3 (Níveis de Ruído Numérico X Histograma) abaixo estão discriminados os valores obtidos para os LEQs segundo o método descrito acima. A última Linha traz o valor da diferença entre o LEQ obtido numericamente (LEQ_N) e os obtidos segundo o método do histograma. Quanto menor essa diferença, mais o valor aproxima-se do real.

Tabela 3 – Níveis de Ruído Numérico X Histograma

Intervalo	15 dB(A)	10 dB(A)	7.5 dB(A)	5 dB(A)	2.5 dB(A)	LEQ_N
LEQ (dB(A))	73.2339	76.0814	72.0122	74.2443	73.1369	73.0217
$LEQ_N - LEQ$	0,2122	3,0597	1,0095	1,2226	0,1152	-

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

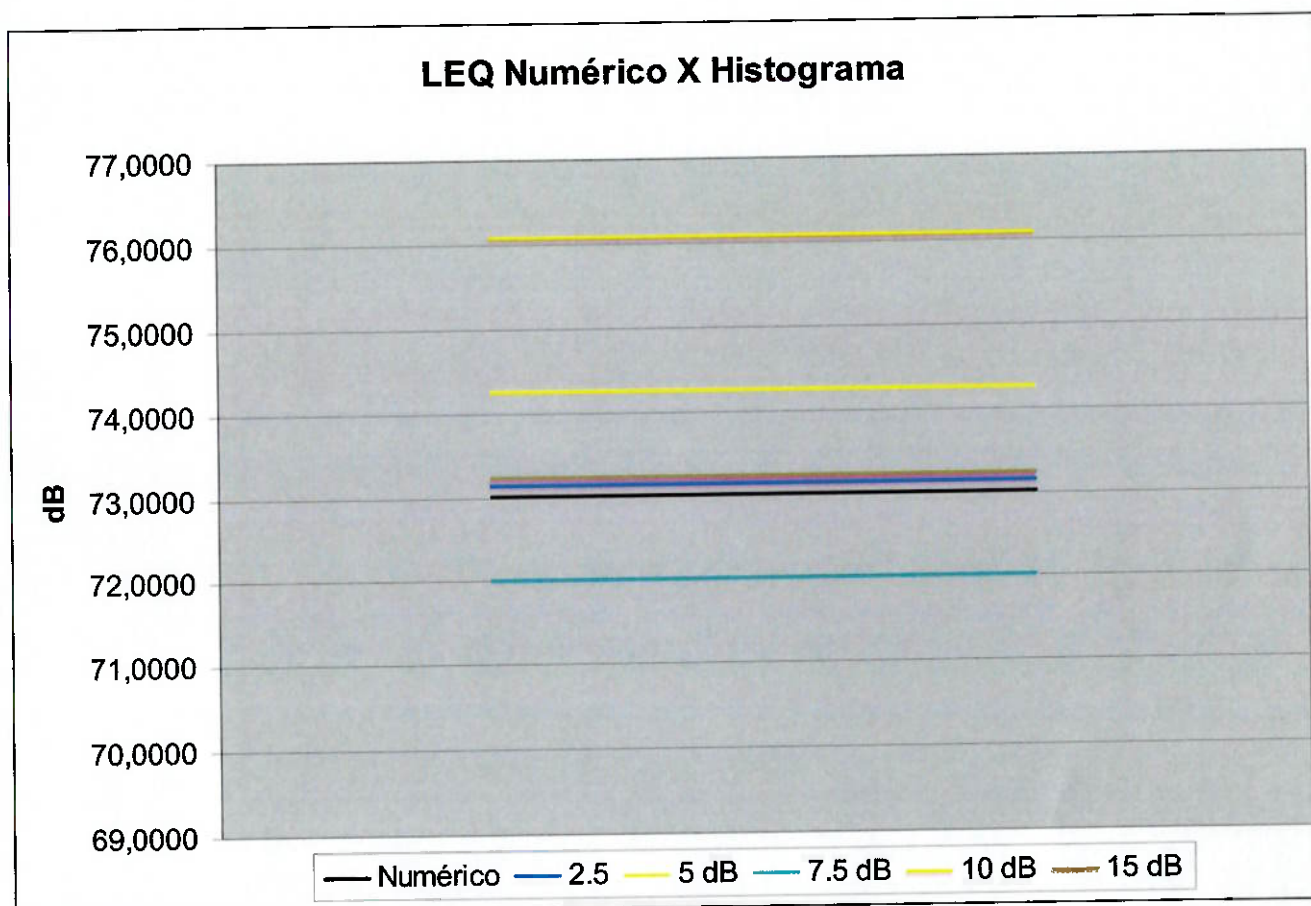


Figura 15 – Níveis de Ruído Numérico X Histograma

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Os intervalos que mais aproximam-se do real são 2.5 dB(A), 15 dB(A), 7.5 dB(A), 5 dB(A) e 10 dB(A) respectivamente. O fato de o intervalo de 15 dB(A) ser um dos que mais se aproximou do valor real pode ser entendido como uma coincidência devido à distribuição de ruído original utilizada uma vez que pode-se ver claramente na figura 8 que a aproximação da sua curva à real é grosseira.

As flutuações dos valores calculados para os intervalos de 7.5 e 5 dB ao valor numérico podem ser consideradas numericamente iguais devido a pouca diferença entre elas (1,0095 e 1,2226 respectivamente).

O LEQ calculado a partir do intervalo de 2.5 dB(A) aproxima-se muito do LEQ_N .

Algumas considerações devem ser feitas sobre o intervalo de 10 dB(A). A distribuição de ruído analisada varia de 40 a 85 dB(A). Note que o único intervalo que não é múltiplo do valor final 85 é o 10. Para esse intervalo os valores encontrados na distribuição temporal de ruído são agrupados no ponto central dos seguintes intervalos:

40 – 50

50 – 60

60 – 70

70 – 80

80 – 90

Sendo assim, qualquer valor acima de 80 será considerado como “85” (ponto central do intervalo) no cálculo do LEQ. O efeito desse fato é que o LEQ calculado para esse intervalo tende a ser sempre maior que os calculados com outros intervalos que sejam múltiplos do valor máximo, como podemos observar na tabela 2.

Agora vamos repetir a metodologia aplicada acima à distribuição de ruído ilustrada na figura 16 (Gráfico de Ruído Ambiental) abaixo que abrange uma faixa menor de ruído, do 50 ao 62 dB(A), para compararmos com os resultados anteriores. Arbitrou-se essa faixa de variação (50-62) por se tratar de uma variação pequena para ruído ambiental.

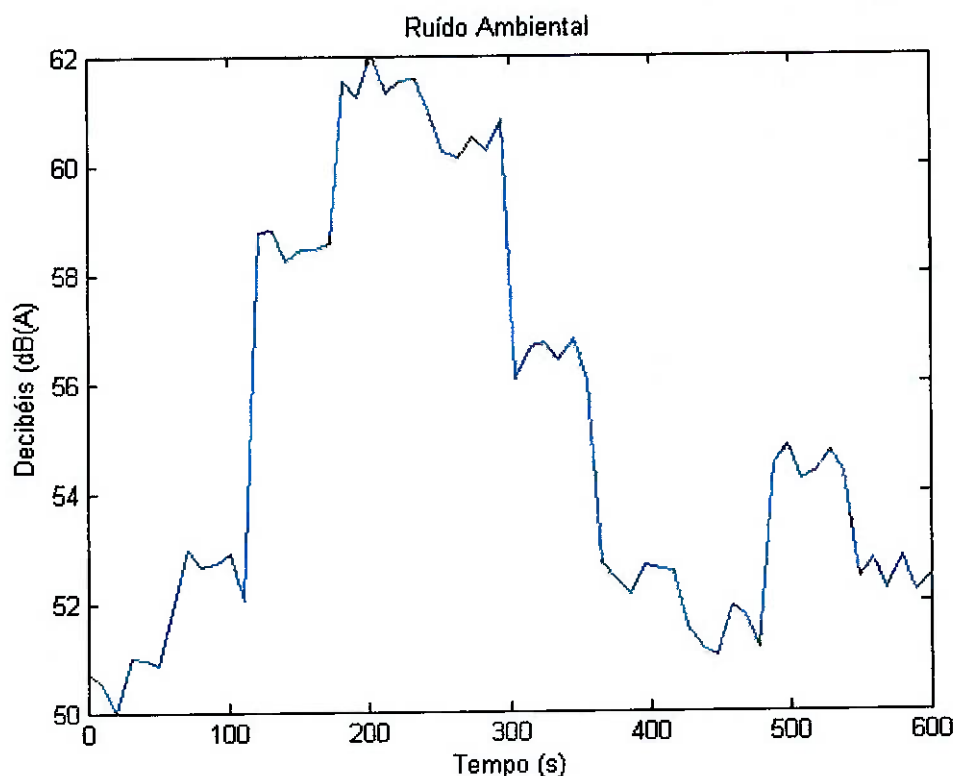


Figura 16 – Gráfico de Ruído Ambiental

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Nas figuras 17 (Ruído Real x Histograma (15 dB(A))), 18 (Ruído Real x Histograma (10 dB(A))), 19 (Ruído Real x Histograma (7.5 dB(A))), 20 (Ruído Real x Histograma (5 dB(A))) e 21 (Ruído Real x Histograma (2.5 dB(A))) abaixo seguem as comparações dos gráficos considerados para o cálculo do LEQ pelo método do histograma e a distribuição real.

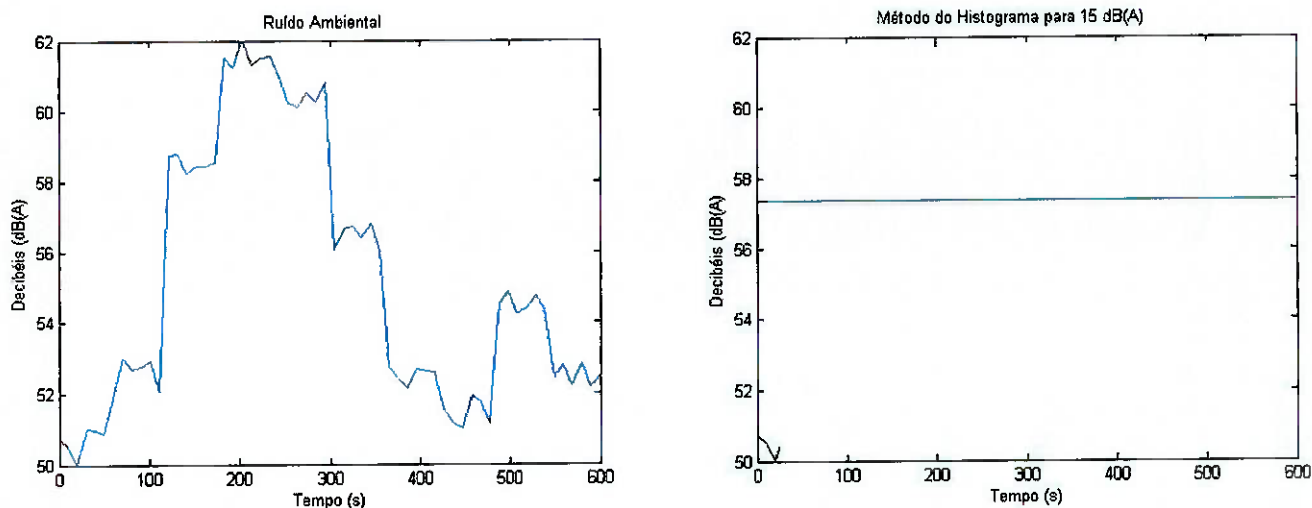


Figura 17 – Ruído Real x Histograma (15 dB(A))

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Como é possível observar na figura acima, a diminuição da amplitude do ruído medido acentua o erro de aproximação para o intervalo de 15 dB(A).

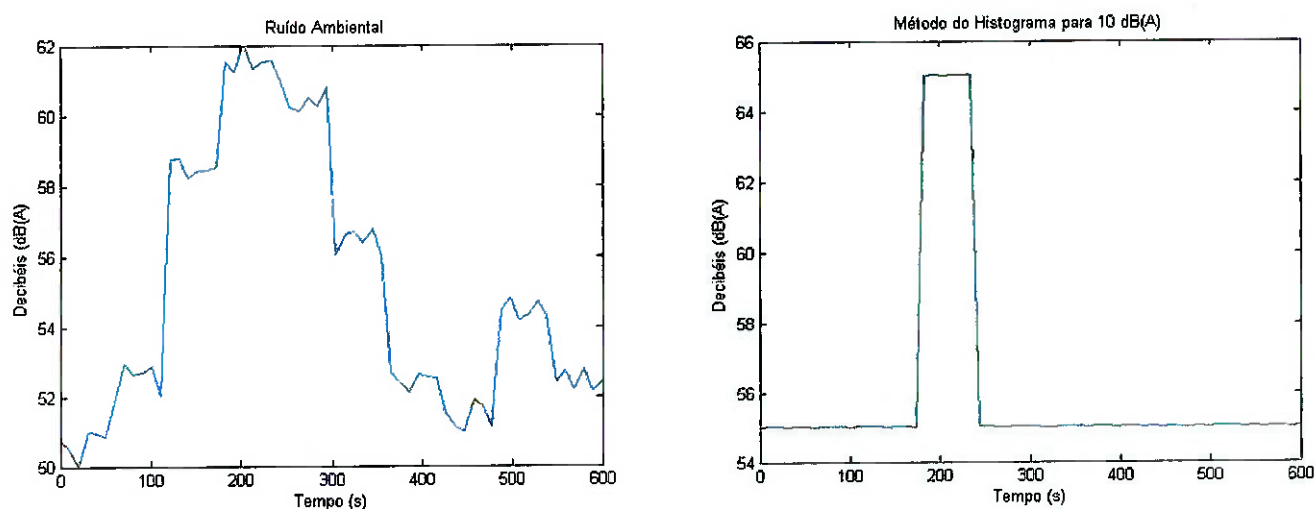


Figura 18 – Ruído Real x Histograma (10 dB(A))

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

O intervalo de 10 dB(A) consegue detectar o maior pico, contudo majora seu valor máximo e não é capaz de perceber os picos menores nem de aproximar de forma razoável o tempo de exposição a esses ruídos.

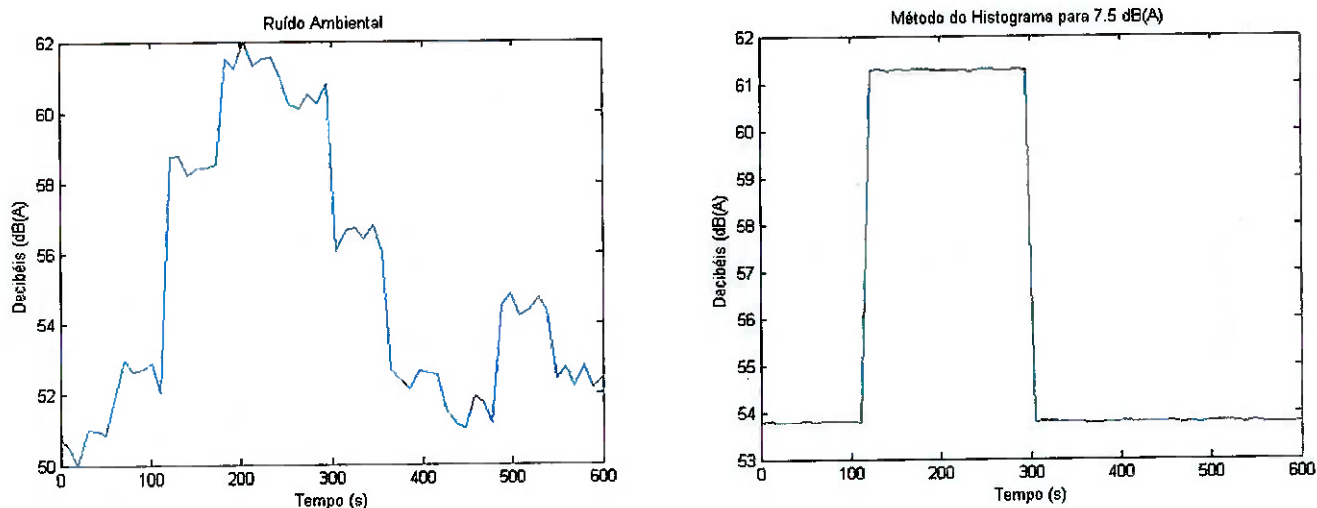


Figura 19 – Ruído Real x Histograma (7.5 dB(A))

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

O intervalo de 7.5 dB(A) já consegue detectar melhor o valor do pico maior e seu tempo de exposição comparativamente ao intervalo de 10 dB(A). Contudo sua representação não assemelha-se ao ruído real e também não é capaz de detectar os picos menores.

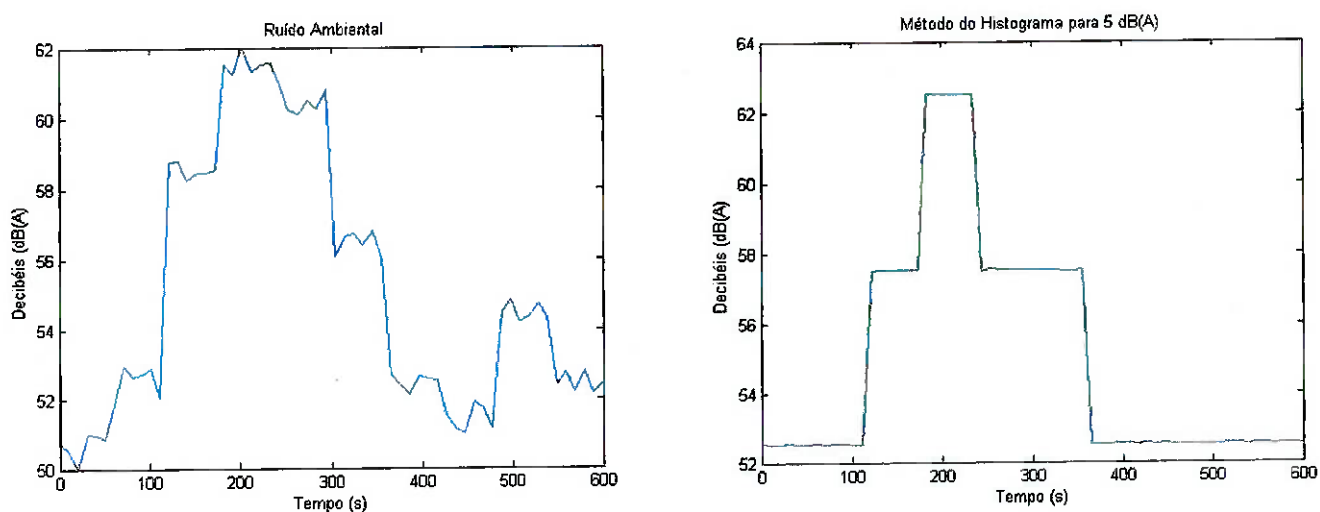


Figura 20 – Ruído Real x Histograma (5 dB(A))

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Comparativamente aos intervalos anteriores, o intervalo de 5 dB(A) consegue aproximar melhor a forma do maior pico e seu valor máximo. Contudo não consegue detectar os menores picos.

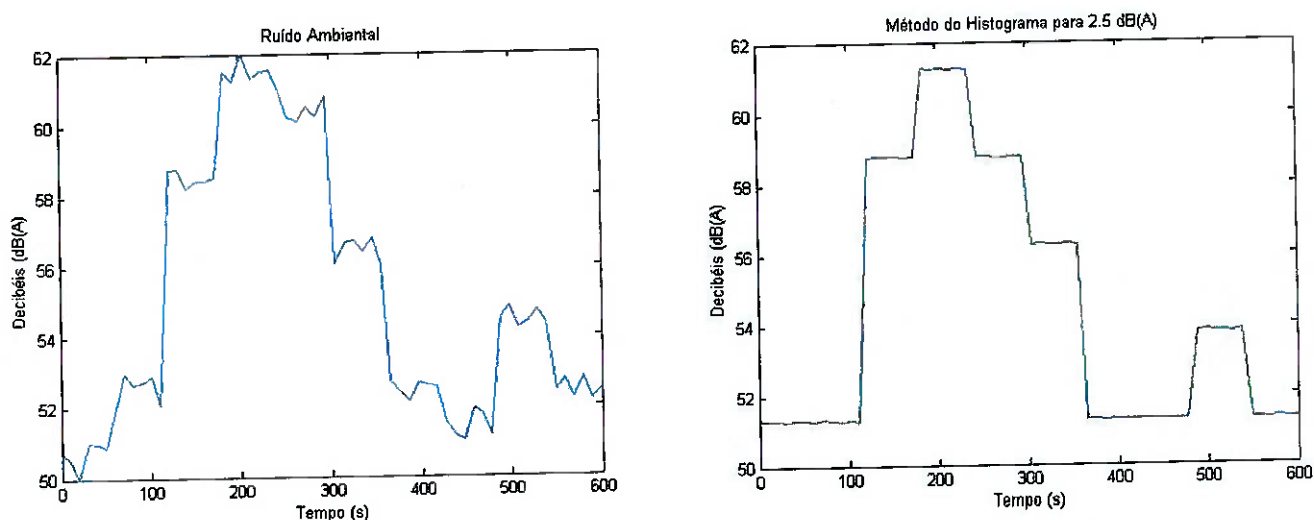


Figura 21 – Ruído Real x Histograma (2.5 dB(A))

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

A discretização em intervalos de 2.5 dB(A) conseguiu detectar todos os intervalos significativos. Aproximou de forma razoável o maior pico e foi capaz de detectar o pico menor.

Com uma menor amplitude de medição do ruído [50dB(A) – 62dB(A)] fica evidente o ganho de informação utilizando-se um intervalo de amostragem reduzido.

A tabela abaixo traz os valores dos LEQs calculados pelo método do histograma para cada intervalo e seu valor numérico. A última linha traz a diferença entres esses valores.

Tabela 4 – Níveis de Ruído Numérico X Histograma

Intervalo	15 dB(A)	10 dB(A)	7.5 dB(A)	5 dB(A)	2.5 dB(A)	LEQ _N
LEQ (dB(A))	57.5000	59.4716	57.5286	57.5953	56.9529	56.7385
LEQ _N - LEQ	0,7615	2,7331	0,7901	0,8568	0,2144	-

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

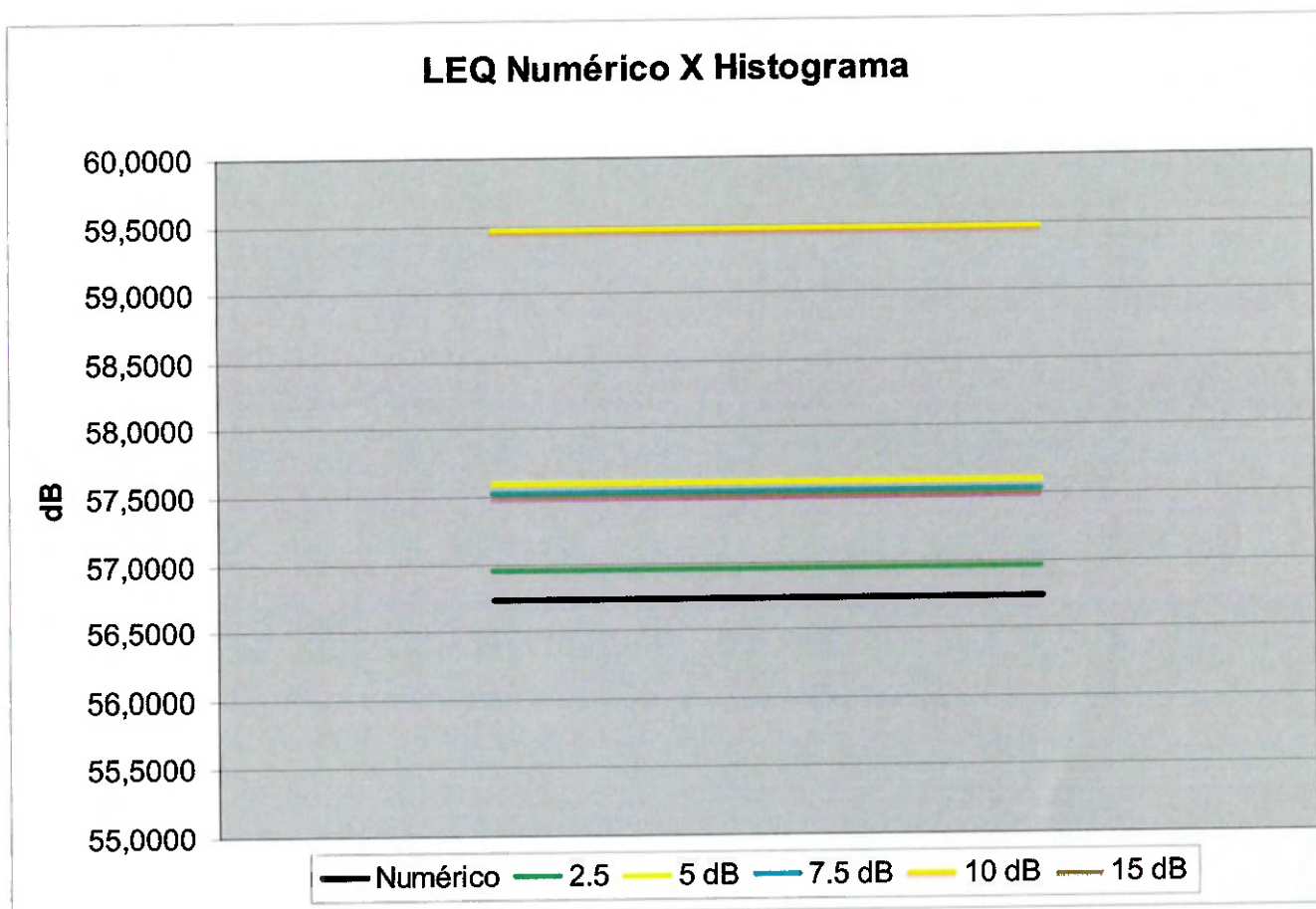


Figura 22 – Níveis de Ruído Numérico X Histograma

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Como pode-se observar os intervalos que mais aproximam-se do valor real são 2.5, 15, 7.5, 5 e 10 dB(A). Como era de se esperar o intervalo que melhor aproximou o valor real foi o de 2.5 dB(A). O intervalo de 15 dB(A) foi o segundo que melhor aproximou o valor numérico. Contudo esse intervalo aproximaria qualquer distribuição temporal de ruído por 57.5 dB(A) no intervalo [50 – 62 dB(A)] por ser seu ponto médio, e o fato de seu valor do LEQ estar próximo do obtido numericamente é novamente mera coincidência.

Os valores de 7.5 dB(A) e 5 dB(A) mostram-se próximos, apesar de o intervalo de 5 dB(A) aproximar melhor o ruído original, conforme podemos observar nas figuras 17 e 18.

Já o LEQ calculado para o intervalo de 2.5 dB(A) aproxima muito bem o valor real, conforme era de se esperar ao analisarmos a figura 19.

5 DISCUSSÕES

Primeiramente, antes de avaliar os resultados apresentados, é preciso apresentar uma limitação do método aplicado nesse estudo. Para a geração de ruídos ambientais aleatórios foi utilizada a função “*rand*” do Matrix Laboratory (MATLAB). Por se tratar de uma função que gera números aleatórios (não-tendenciosos) em um intervalo pré-definido, sua média tende ao ponto central desse intervalo.

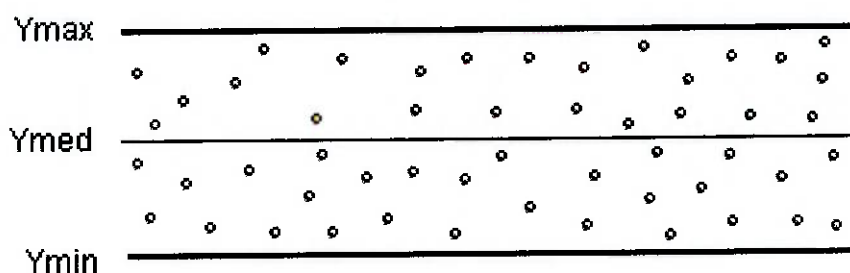


Figura 23 – Dispersão e média em um intervalo randômico

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Y = Qualquer grandeza gerada aleatoriamente

Essa característica favorece a aproximação do cálculo do LEQ pelo método do histograma ao valor gerado pelo MATLAB, pois esse método também utiliza-se do ponto central do intervalo. Logo, a diferença do valor do LEQ obtido pelo método do histograma em relação ao valor real deve ser considerada minorada em relação ao obtido em casos de ruídos ambientais reais.

Outra característica a ser considerada é a natureza do decibel. Decibel é uma escala logarítmica. Para o ruído, o dobro da energia corresponde a adição de 3 decibéis. Sendo assim, uma vez que o nível de ruído tenha atingido valores altos, mesmo que esse mantenha-se baixo pelo restante do tempo o nível equivalente de ruído não tende a diminuir proporcionalmente. Por exemplo se um nível de ruído na escala de 50 a 60 dB(A) se mantiver por 80% do tempo no nível de 50 dB(A) e 20% do tempo em 60 dB(A), o nível equivalente tende a aproximar-se de 60 mais que na proporção de 2 para 8.

As figuras 24 (Ruído 10 % - 90%), 25 (Ruído 20 % - 80%), 26 (Ruído 30 % - 70%), 27 (Ruído 40 % - 60%) e 28 (Ruído 50 % - 50%) abaixo ajudam a exemplificar esse conceito.

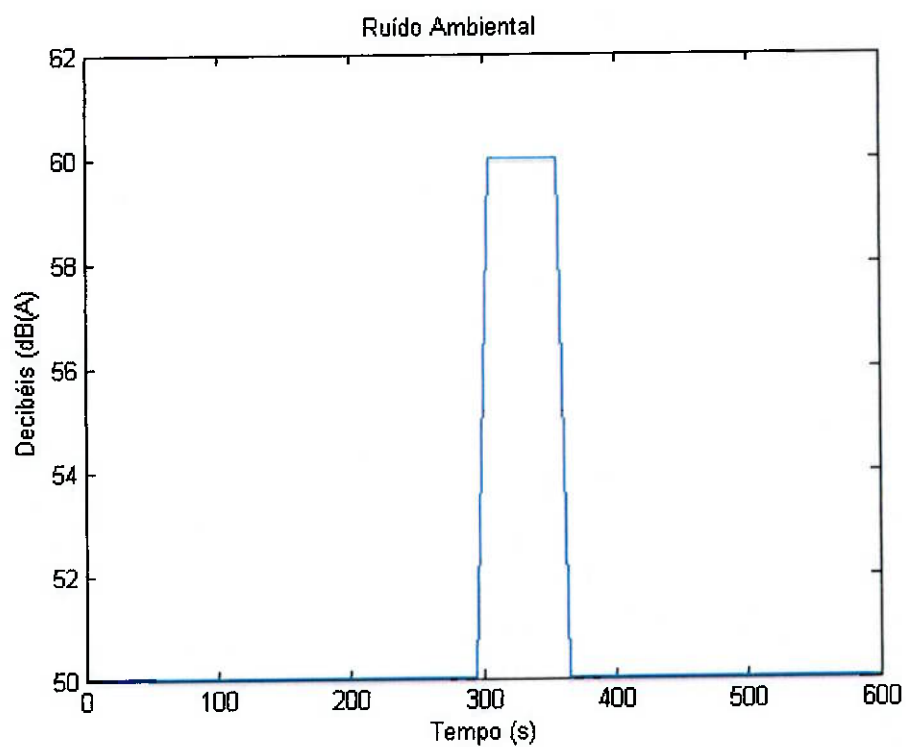


Figura 24 –Ruído 10 % - 90%

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

LEQ: 52.7932

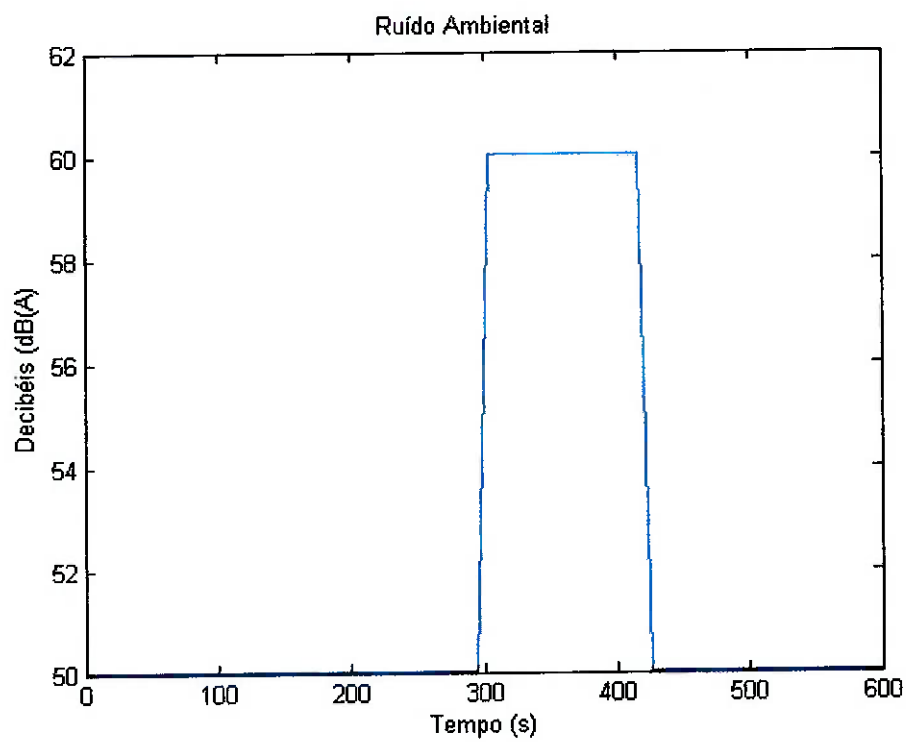


Figura 25 –Ruído 20 % - 80%

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

LEQ: 54.4761 (próximo do ponto médio do intervalo – 55 dB(A))

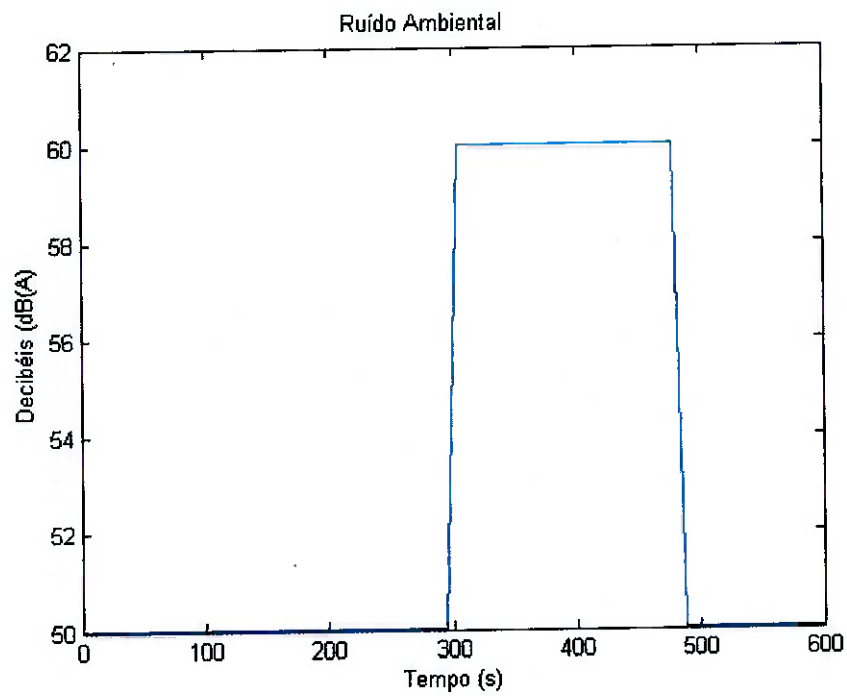


Figura 26 – Ruído 30 % - 70%

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

LEQ: 55.6869

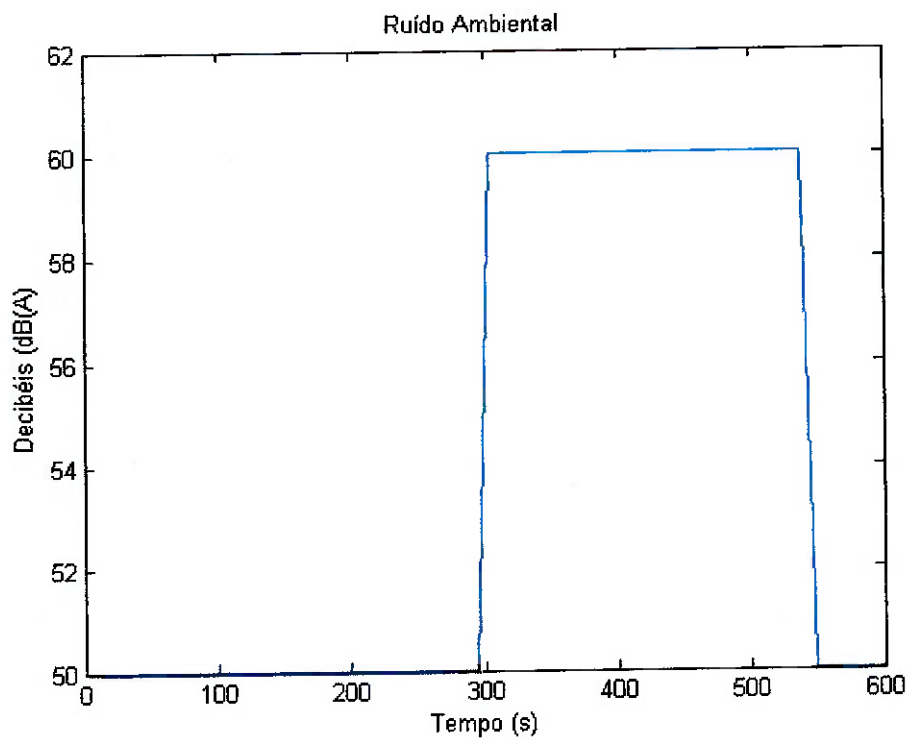


Figura 27 – Ruído 40 % - 60%

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

LEQ: 56.6319

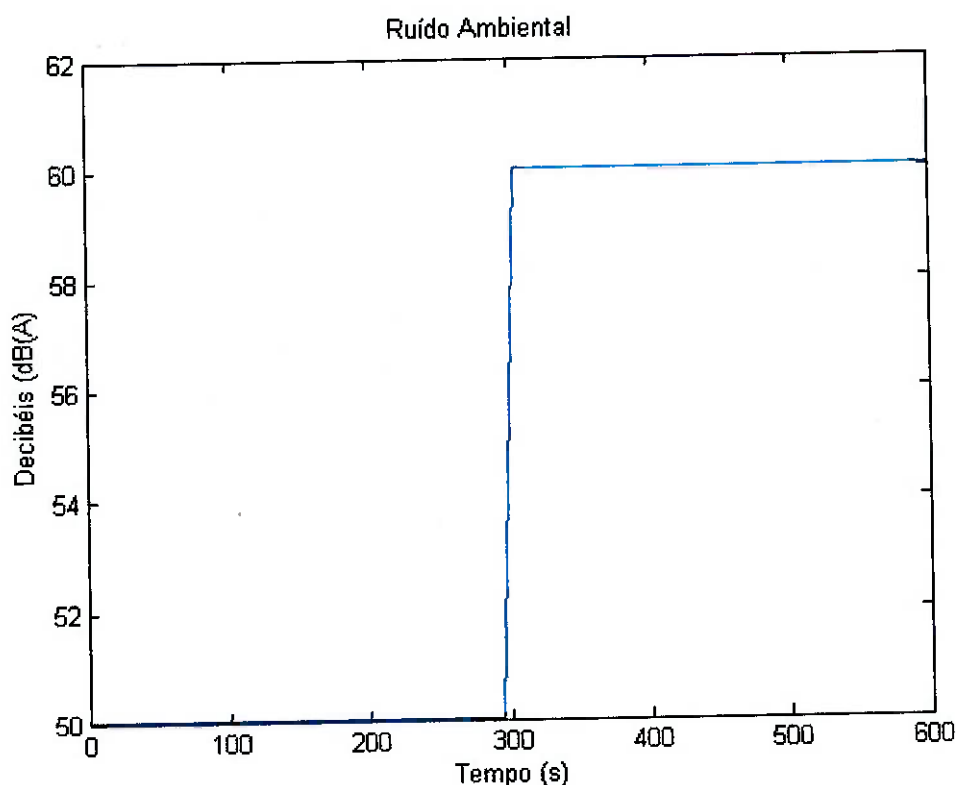


Figura 28 – Ruído 50 % - 50%

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

LEQ: 57.4083

Como é possível ver, no caso em que o ruído fica 20% do tempo em 60 dB(A) e 80% do tempo em 50 dB(A) (figura 25) o nível equivalente de ruído aproxima-se do ponto médio do intervalo 55 dB(A) e no caso em que o ruído permanece 50% do tempo em 50 dB(A) e 50% em 60 dB(A) (figura 28) o nível equivalente supera os 55 dB(A).

Esse fato também é confirmado pela dificuldade de eliminar ruído. Para abaixar um nível de ruído ambiental em por exemplo 10 dB(A) grande esforço é requerido.

Pode-se então concluir que o ruído calculado pelo método do histograma se aproximará mais do valor real quanto mais esse conseguir detectar os picos altos e a qualidade dessa aproximação. Tomemos a figura 19 (Ruído Real x Histograma (7.5 dB(A))) onde a aproximação foi apenas pelo grande pico. A priori sua aproximação não

reflete a realidade, contudo seu valor do LEQ aproximou razoavelmente o valor real. Isso porque ele foi capaz de detectar esse maior pico.

Uma vez discutida qualitativamente as detecções dos picos, outro aspecto a se considerar é o valor dessa aproximação (análise quantitativa). Quanto menor for o intervalo de discretização mais o valor do pico analisado irá se aproximar do valor real.

Conforme discutimos anteriormente a qualidade dessa aproximação é de grande valia, pois os maiores picos são dominantes no valor do nível calculado.

Tomemos por exemplo os LEQs dos gráficos abaixo:

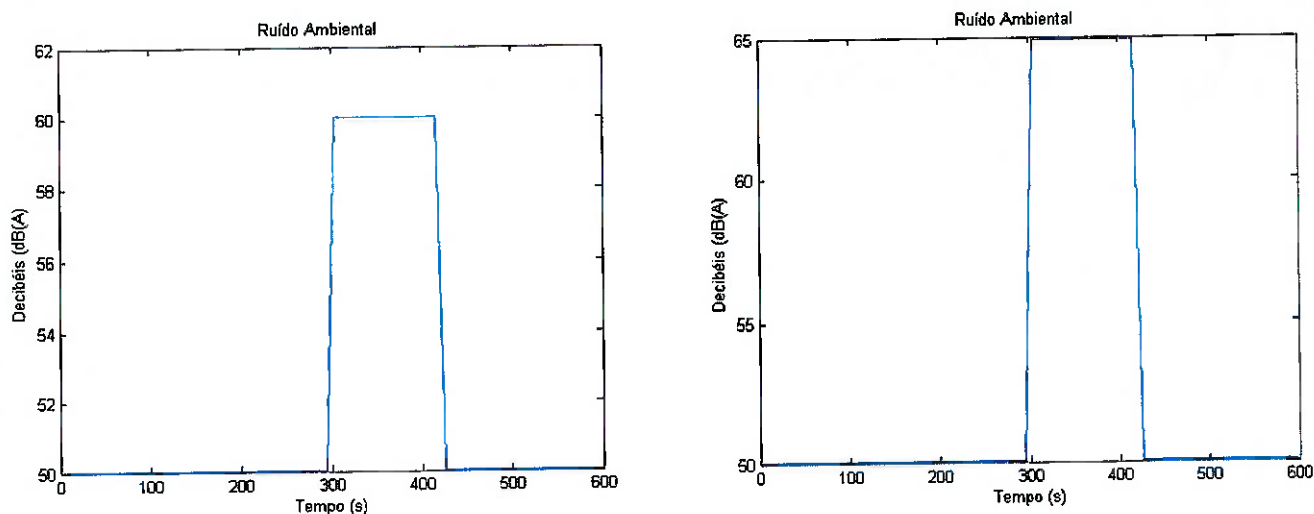


Figura 29 – Ruído 20 % - 80% para 60 e 65 dB(A)

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

LEQ: 54.4761

LEQ: 58.5227

A única diferença entre os dois gráficos acima é o valor do pico que passou de 60 dB(A) para 65 dB(A), mantendo-se iguais os tempos de exposição. Ao comparar seus valores de nível equivalente pode-se observar que o valor subiu de 54.4761 dB(A) para 58.5227 dB(A) para os picos de 60 dB(A) e 65 dB(A) respectivamente. Um aumento de mais de 4 dB(A), o que corresponde em termos energéticos a mais que o dobro.

A tabela 5 (Aumento do LEQ com o valor do Pico) abaixo ilustra a variação do LEQ com o aumento no tamanho do pico para o ruído anterior:

Tabela 5 – Aumento do LEQ com o valor do Pico

VALOR DO PICO	LEQ	DIFERENÇA
65	58.5227	4,0466
64	57.6485	3,1724
63	56.7997	2,3236
62	55.9843	1,5082
61	55.2054	0,7293
60	54.4761	0

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Analizando a tabela acima é possível ver que para um erro no valor do pico de aproximadamente 4 dB, o resultado já é alterado com o valor de aproximadamente 3 dB(A).

Agora analisemos os intervalos:

Tabela 6 – Pontos Médios

INTERVALO	PONTO MÉDIO
15 dB	7.5 dB
10 dB	5 dB
7.5 dB	3.75 dB
5 dB	2.5 dB
2.5 dB	1.25 dB

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

No limite, o erro máximo que um intervalo pode gerar é a distância do seu ponto médio à região limítrofe do intervalo, ou a diferença entre seus extremos dividida por dois. Sendo assim ao analisarmos em conjunto as duas tabelas anteriores podemos correlacionar os intervalos com o erro estimado no valor do LEQ.

Outro fenômeno que pode ocorrer na representação da distribuição temporal de ruído pelo histograma é o majoramento dos picos. Como é possível ver na figura 30 (Nível equivalente de ruído abaixo do ponto médio) abaixo, quando a totalidade dos pontos

constantes no intervalo, ou a maioria desses, encontra-se abaixo do ponto médio, o nível equivalente da distribuição de ruído permanece entre seu valor mínimo (Y_{\min}) e seu valor médio ($Y_{\text{méd}}$). Contudo, o método do histograma considera o ruído desse intervalo como seu valor médio. Essa aproximação majora o nível equivalente de ruído no intervalo.

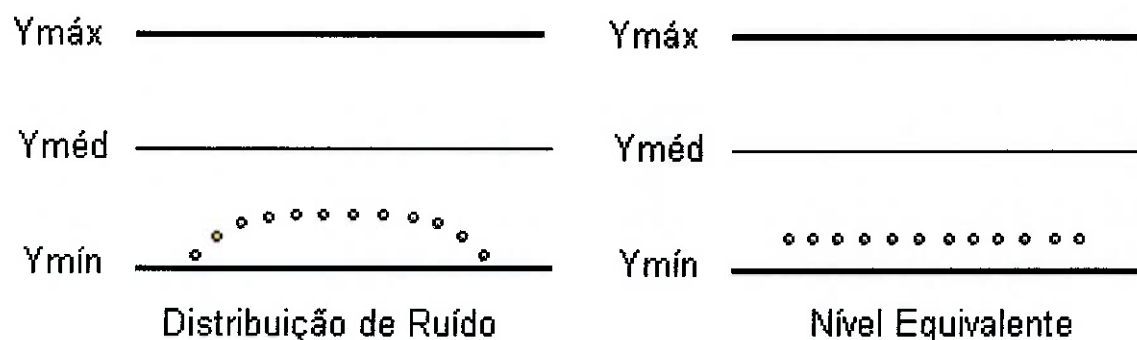


Figura 30 – Nível equivalente de ruído abaixo do ponto médio

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Y = Nível de Ruído

A figura 31 (Nível equivalente de ruído aproximado pelo ponto médio) abaixo ilustra a representação da distribuição temporal de ruído pelo método do histograma. Nela é possível ver a aproximação do ruído pelo ponto médio e o majoramento do nível equivalente de ruído.

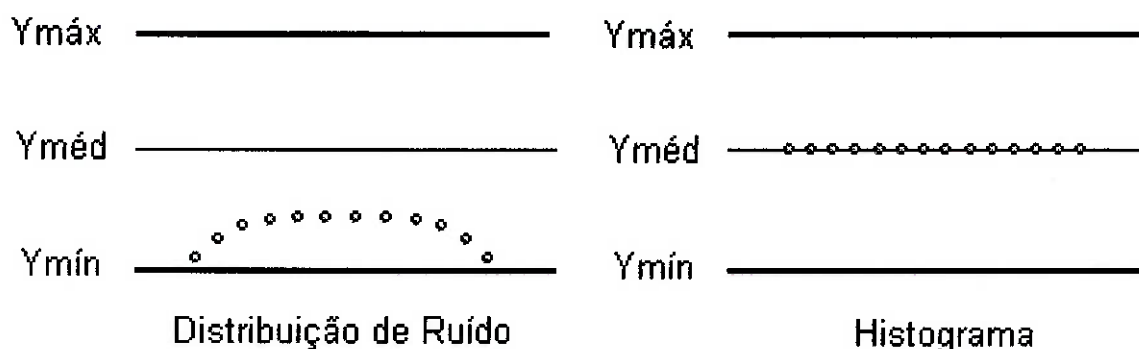


Figura 31 – Nível equivalente de ruído aproximado pelo ponto médio

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Y = Nível de Ruído

Como visto anteriormente, os grandes picos são dominantes no cálculo do LEQ pelo método do histograma e para o caso anterior a aproximação do nível de ruído pelo ponto médio do intervalo tende a elevar o nível equivalente calculado. Analogamente uma aproximação de uma distribuição com nível equivalente no intervalo maior que seu ponto médio, devido a aproximação pelo ponto médio, tende a diminuir o valor do nível equivalente.

Para minimizar o erro no cálculo do nível equivalente pelo majoramento do maior pico, deve-se escolher um intervalo de discretização múltiplo inteiro da diferença do maior pelo menor valor de ruído da distribuição. Dessa maneira é possível minimizar o fenômeno ilustrado na figura 31 (Nível equivalente de ruído aproximado pelo ponto médio), pois o valor do pico máximo coincidirá com o extremo do intervalo.

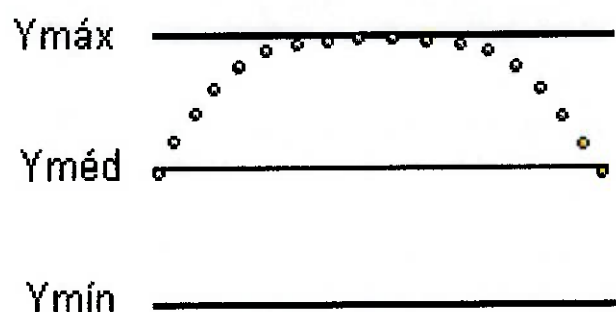


Figura 32 – Nível equivalente de ruído abaixo do ponto médio

Fonte: Desenvolvido pelo Autor

Y = Nível de Ruído

O maior pico tem grande influência no nível equivalente da distribuição. Aplicando-se o conceito acima, o fenômeno ilustrado na figura 31 (Nível equivalente de ruído aproximado pelo ponto médio) pode ser evitado, pois seu valor do maior pico coincide com o limite superior do intervalo.

Para uma boa aproximação do nível equivalente é necessário considerar a amplitude da distribuição de ruído que está sendo analisada. Ao se alterar a amplitude de 45 dB [40 – 85] para 12 dB [50 – 62] e analisando-se os gráficos que ilustram a aproximação do método à curva real fica claro que não existe um valor fixo de intervalo de discretização que aproxime razoavelmente curvas de qualquer tamanho. Por exemplo na aplicação do intervalo de 7.5 dB(A) para as duas distribuições é nítida a diferença entre suas representações. Na primeira ele aproxima razoavelmente o ruído original,

diferentemente da segunda onde sua aproximação não foi satisfatória. Logo, para cada variação de ruído existe um melhor intervalo.

Outro ponto a considerar é a detecção dos maiores picos (dominantes no cálculo do LEQ) e a qualidade dessa aproximação. O erro na aproximação dos picos é diretamente proporcional ao tamanho do intervalo de discretização. Conforme é possível ver nas tabelas 4 e 5 o maior erro possível para a aproximação pelo método do histograma ao valor real corresponde à diferença entre os extremos do intervalo de discretização dividido por dois. Sendo assim, para o erro de aproximação da curva considerada pelo método à curva real ser na ordem de 3 dB ou menor, uma condição suficiente é utilizar o intervalo de discretização da ordem de 6 dB ou menor.

A utilização de diversos intervalos de discretização na aplicação do método do histograma permitiu a visualização dos efeitos da aplicação de um intervalo inadequado, como, por exemplo, a má detecção dos picos, má aproximação dos valores médios e a conseqüente propagação dos erros para o nível equivalente calculado.

Também a partir dos gráficos que ilustram a interpretação do ruído real pelo método, foi possível, em detrimento do valor do nível equivalente, inferir como a diminuição do intervalo de discretização influi na percepção da distribuição de ruído. Quanto menor for o intervalo aplicado, melhor é a aproximação da distribuição de ruído e do nível equivalente calculado.

Da análise dos gráficos e da comparação dos valores de nível equivalente calculados pelo método do histograma com seu respectivo valor numérico também foi possível ver que não existe um melhor intervalo de discretização que represente bem qualquer distribuição temporal de ruído. Para cada distribuição existe um melhor intervalo que permita uma boa representação da distribuição de ruído e que seja aplicável na prática.

Também foi possível concluir que no cálculo do LEQ a dominância é dos maiores picos e a aproximação ao valor exato possui grande dependência da detecção quantitativa e qualitativa dos mesmos. Quanto mais e melhor o método detectar os grandes picos mais o valor do nível equivalente calculado pelo método irá se aproximar do valor real.

Outro fator útil do ponto de vista prático é a escolha de um intervalo de discretização múltiplo inteiro da diferença entre o maior e o menor valor do ruído para minimizar o erro do LEQ calculado pelo método do histograma. Dessa maneira é possível evitar o majoramento do maior pico e conseqüentemente do nível equivalente de ruído calculado.

Comparando-se o valor computacional do LEQ com o método do histograma para seus diversos intervalos de discretização, pôde-se notar empiricamente que as representações das distribuições temporais começam a apresentar boa aproximação do ruído real quando construídos com intervalos de discretização conforme a equação (3).

A utilização do intervalo determinado pela equação (3) mostrou na prática resultados que aproximam razoavelmente o nível equivalente pelo método do histograma e também atende à condição de utilização de um intervalo múltiplo da diferença do maior e menos valores da distribuição de ruído.

$$\text{Intervalo de discretização} = \frac{[L_{\text{MÁX}} - L_{\text{MÍN}}]}{6} \quad (3)$$

Onde:

$L_{\text{MÁX}}$ = Nível máximo do ruído

$L_{\text{MÍN}}$ = Nível mínimo do ruído

A aplicação do método utilizado nesse estudo para fins práticos pode encontrar limitações operacionais. Em uma situação cotidiana onde se dispõem somente de um detector pontual de ruído, o método do histograma fornece uma aproximação aceitável desde que utilizado com um intervalo de discretização adequado.

Ademais, devido à característica de grande variação do ruído ambiental, o intervalo de discretização usualmente aplicado no método, 5 dB, pode ser utilizado. Contudo há de se observar a amplitude dessa variação e utilizando-se da equação (3) verificar se o intervalo de 5 dB mantém-se adequado.

6 CONCLUSÃO

Estudou-se o intervalo arbitrário de discretização do histograma de ruído, comparando-se os valores obtidos pelo método com seu respectivo valor computacional e diante disso, foi possível concluir que a melhor alternativa para fins reais é a aplicação da equação (3) que aproxima, para distribuições de qualquer amplitude, satisfatoriamente o valor do nível equivalente.

$$\text{Intervalo de discretização} = \frac{[L_{\text{MÁX}} - L_{\text{MÍN}}]}{6} \quad (3)$$

Onde:

$L_{\text{MÁX}}$ = Nível máximo do ruído

$L_{\text{MÍN}}$ = Nível mínimo do ruído

A contribuição desse estudo dá-se no âmbito da aplicação prática do método do histograma, fornecendo uma ferramenta adicional para o cálculo do nível equivalente de ruído.

Estudos futuros podem abordar a frequência de amostragem do ruído ambiental para uma representação fiel do ruído real pelo histograma.

7 REFERÊNCIAS

1. Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica. **EST – 603B / ST-20. Proteção ao Meio Ambiente (Parte B)**. São Paulo: 2009.
2. Ibrahim, Ricardo Cury. **MATLAB para o Laboratório de Automação II**. Escola Politécnica da USP. São Paulo: 2006.
3. Bistafa, Sylvio R. – **Acústica aplicada ao controle de ruído**. São Paulo: Blucher, 2006.
4. ABHO - Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais. **Limites de Exposição Ocupacionais (TLVs) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos**. São Paulo, 2007.
5. Mathworks – MATLAB and Simulink for technical Computing. Disponível em: <<http://www.mathworks.com/>>. Acesso em: 15 de abril de 2010.
6. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO – MTE. **Norma Regulamentadora 15: Atividades e Operações Insalubres**. São Paulo, 2010.
7. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10151: Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**. Rio de Janeiro. Jun 2000.
8. University of Colorado. Colorado. Introduction to Finite Element Methods (ASEN 5007). Disponível em: <<http://www.colorado.edu/>>. Acesso em: 10 abr. de 2010
9. OGATA, Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1985.

8 APÊNDICE

O código-fonte do apêndice 9.1 foi desenvolvido no programa MATLAB (Matrix Laboratory) para a elaboração do método descrito nesse estudo. As linhas abaixo geram uma distribuição temporal de ruído com características arbitrárias e aleatórias, executa o cálculo do nível equivalente numérico e pelo método do histograma para os intervalos de discretização de 15, 10, 7.5, 5 e 2.5 dB e gera os gráficos da interpretação do método para cada intervalo de discretização do ruído original.

8.1 APENDICE I – Código Fonte

```
%Intervalo de Discretização
t = 60;
%Ruído Ambiental
x = linspace (0,600,t);
%As linhas abaixo são para criar uma função y combinada das demais funções.
%da liberdade de alocar a curva onde for de melhor interesse.
h = 40 + rand(1,(t/10))*5; %40 é arbitrado. a variação de 40-45 é aleatória
p = 48 + rand(1,(t/10))*5;
z = 56 + rand(1,(t/10))*5;
k = 52 + rand(1,(t/10))*5;
d = 74 + rand(1,(t/10))*5;
c = 84 + rand(1,(t/10))*5;
v = 69 + rand(1,(t/10))*5;
u = 71 + rand(1,(t/10))*5;
o = 65 + rand(1,(t/10))*5;
b = 48 + rand(1,(t/10))*5;
y = [h p z k d c v u o b]; %Concatena as funções anteriores em y
figure(1);
plot(x,y);
title(' Ruído Ambiental');
xlabel( Tempo (s));
ylabel( Decibéis (dB(A));
```

```

somatoria = 0; %somatoria dos argumentos do logaritmo
%Laço para o cálculo do argumento do logaritmo do leq
for i=1:t
    somatoria = somatoria + (1/t)*(10^(y(i)/10));
end
leq = 10*log10(somatoria);

%Cálculo do Leq pelo método do histograma para o intervalo de 15dB(A)
tempo47 = 0; %Entre 40 e 55 -> 47.5
tempo62 = 0;
tempo77 = 0;
for j=1:t
    if y(j)>40
        if y(j)<=55 tempo47 = tempo47 +1;
        elseif y(j)<=70 tempo62 = tempo62 +1;
        elseif y(j)<=85 tempo77 = tempo77 +1;
        end
    end
end
leq15 = 10*log10(((tempo47/t)*(10^4.75))+((tempo62/t)*(10^6.25))+((tempo77/t)*
(10^7.75)));

```

Analogamente temos o cálculo para os intervalos de 10, 5 e 2.5 dB(A) respectivamente:

```

%Cálculo do Leq pelo método do histograma para o intervalo de 10dB(A)
tempo45 = 0; %Entre 40 e 50
tempo55 = 0;
tempo65 = 0;
tempo75 = 0;
tempo85 = 0;
for j=1:t
    if y(j)>40
        if y(j)<=50 tempo45 = tempo45 +1;
        elseif y(j)<=60 tempo55 = tempo55 +1;

```

```

elseif y(j)<=70 tempo65 = tempo65 +1;
elseif y(j)<=80 tempo75 = tempo75 +1;
elseif y(j)<=90 tempo85 = tempo85 +1;
end
end
end
leq10 = 10*log10(((tempo45/t)*(10^4.5))+((tempo55/t)*(10^5.5))+((tempo65/t)*(10^6.5))
+((tempo75/t)*(10^7.5))+((tempo85/t)*(10^8.5))));

```

%Cálculo do Leq pelo método do histograma para o intervalo de 5dB(A)

```

tempo42 = 0; %Entre 40 e 45
tempo47 = 0;
tempo52 = 0;
tempo57 = 0;
tempo62 = 0;
tempo67 = 0;
tempo72 = 0;
tempo77 = 0;
tempo82 = 0;
for j=1:t
    if y(j)>40
        if y(j)<45 tempo42 = tempo42 +1;
        elseif y(j)<50 tempo47 = tempo47 +1;
        elseif y(j)<55 tempo52 = tempo52 +1;
        elseif y(j)<60 tempo57 = tempo57 +1;
        elseif y(j)<65 tempo62 = tempo62 +1;
        elseif y(j)<70 tempo67 = tempo67 +1;
        elseif y(j)<75 tempo72 = tempo72 +1;
        elseif y(j)<80 tempo77 = tempo77 +1;
        elseif y(j)<85 tempo82 = tempo82 +1;
        end
    end
end
end

```

$$leq5 = 10 \cdot \log_{10} \left(\left(\frac{tempo42}{t} \right) \cdot (10^{4.25}) + \left(\frac{tempo47}{t} \right) \cdot (10^{4.75}) + \left(\frac{tempo52}{t} \right) \cdot (10^{5.25}) + \left(\frac{tempo57}{t} \right) \cdot (10^{5.75}) + \left(\frac{tempo62}{t} \right) \cdot (10^{6.25}) + \left(\frac{tempo67}{t} \right) \cdot (10^{6.75}) + \left(\frac{tempo72}{t} \right) \cdot (10^{7.25}) + \left(\frac{tempo77}{t} \right) \cdot (10^{7.75}) + \left(\frac{tempo82}{t} \right) \cdot (10^{8.25}) \right);$$

%Cálculo do Leq pelo método do histograma para o intervalo de 2.5dB(A)

tempo41 = 0; %Entre 40 e 42.5

tempo43 = 0;

tempo46 = 0;

tempo48 = 0;

tempo51 = 0;

tempo53 = 0;

tempo56 = 0;

tempo58 = 0;

tempo61 = 0;

tempo63 = 0;

tempo66 = 0;

tempo68 = 0;

tempo71 = 0;

tempo73 = 0;

tempo76 = 0;

tempo78 = 0;

tempo81 = 0;

tempo83 = 0;

for j=1:t

if y(j)>40

if y(j)<42.5 tempo41 = tempo41 +1;

elseif y(j)<45 tempo43 = tempo43 +1;

elseif y(j)<47.5 tempo46 = tempo46 +1;

elseif y(j)<50 tempo48 = tempo48 +1;

elseif y(j)<52.5 tempo51 = tempo51 +1;

elseif y(j)<55 tempo53 = tempo53 +1;

elseif y(j)<57.5 tempo56 = tempo56 +1;

elseif y(j)<60 tempo58 = tempo58 +1;

elseif y(j)<62.5 tempo61 = tempo61 +1;

```

elseif y(j)<65 tempo63 = tempo63 +1;
elseif y(j)<67.5 tempo66 = tempo66 +1;
elseif y(j)<70 tempo68 = tempo68 +1;
elseif y(j)<72.5 tempo71 = tempo71 +1;
elseif y(j)<75 tempo73 = tempo73 +1;
elseif y(j)<77.5 tempo76 = tempo76 +1;
elseif y(j)<80 tempo78 = tempo78 +1;
elseif y(j)<82.5 tempo81 = tempo81 +1;
elseif y(j)<85 tempo83 = tempo83 +1;
end
end
end
leq2=
10*log10(((tempo41/t)*(10^4.15))+((tempo43/t)*(10^4.375))+((tempo46/t)*(10^4.625))+((te
mpo48/t)*(10^4.875))+((tempo51/t)*(10^5.125))+((tempo53/t)*(10^5.375))+((tempo56/t)*(10
^5.625))+((tempo58/t)*(10^5.875))+((tempo61/t)*(10^6.125))+((tempo63/t)*(10^6.375))+((te
mpo66/t)*(10^6.625))+((tempo68/t)*(10^6.875))+((tempo71/t)*(10^7.125))+((tempo73/t)*(10
^7.375))+((tempo76/t)*(10^7.625))+((tempo78/t)*(10^7.875))+((tempo81/t)*(10^8.125))+((te
mpo83/t)*(10^8.375)));

```

8.2 APENDICE II – Distribuições temporais de ruído

O trecho de código abaixo, quando aplicado no programa MATLAB, proporciona infinitas distribuições temporais de ruído para o posterior tratamento e análise dos dados.

```
%Intervalo de Discretização
t = 60;
%Ruido Ambiental
x = linspace (0,600,t);
%As linhas abaixo são para criar uma função y combinada das demais funções.
%da liberdade de alocar a curva onde for de melhor interesse.
h = 40 + rand(1,(t/10))*5; %40 é arbitrado, a variação de 40-45 é aleatória
p = 48 + rand(1,(t/10))*5;
z = 56 + rand(1,(t/10))*5;
k = 52 + rand(1,(t/10))*5;
d = 74 + rand(1,(t/10))*5;
c = 84 + rand(1,(t/10))*5;
v = 69 + rand(1,(t/10))*5;
u = 71 + rand(1,(t/10))*5;
o = 65 + rand(1,(t/10))*5;
b = 48 + rand(1,(t/10))*5;
y = [h p z k d c v u o b]; %Concatena as funções anteriores em y
figure(1);
plot(x,y);
title(' Ruido Ambiental ');
xlabel( Tempo (s) ');
ylabel( Decibéis (dB(A)) ');
```

8.3 APENDICE III – Cálculo numérico do Nível Equivalente (LEQ)

O trecho de código abaixo, quando aplicado no programa MATLAB, proporciona o cálculo do nível equivalente (LEQ) numérico.

```
somatoria = 0; %somatoria dos argumentos do logaritmo
%Laço para o cálculo do argumento do logaritmo do leq
for i=1:t
    somatoria = somatoria + (1/t)*(10^(y(i)/10));
end
leq = 10*log10(somatoria);
```