



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**URBANA E AMBIENTAL (PPGEUA)**

**IEURE AMARAL ROLIM**

**CONTRIBUIÇÕES PARA DETERMINAÇÃO DO INCREMENTO DOS NÍVEIS DE  
RUÍDO DEVIDO A SONORIZADORES TRANSVERSAIS EM VIAS URBANAS**

**JOÃO PESSOA – PB**

**Março 2011**

---

**IEURE AMARAL ROLIM**

**CONTRIBUÍÇÕES PARA DETERMINAÇÃO DO INCREMENTO DOS NÍVEIS DE  
RUÍDO DEVIDO A SONORIZADORES TRANSVERSAIS EM VIAS URBANAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental (PPGEUA) como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental, promovido pelo Centro Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus I.

**ORIENTADOR:**

**PROFESSOR: RICARDO ALMEIDA DE MELO, DOUTOR**

PPGEUA/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/CT/UFPB

**Co-orientador:**

**PROFESSOR: ROBERTO LEAL PIMENTEL, DOUTOR**

PPGEUA/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/CT/UFPB

João Pessoa – PB

2011

R748c Rolim, Ieure Amaral.

Contribuições para determinação do incremento dos níveis de ruído devido a sonorizadores transversais em vias urbanas / Ieure Amaral Rolim. - João Pessoa, 2011.  
98 f. : il.

Orientação: Ricardo Almeida de Melo.

Coorientação: Roberto Leal Pimentel.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Engenharia Urbana e Ambiental. 2. Sonorizador transversal. 3. Poluição Sonora - Ruído do Tráfego. 4. Predição de ruído. 5. Distúrbio sonoros - edificações lindeiras. I. Melo, Ricardo Almeida de. II. Pimentel, Roberto Leal. III. Título.

UFPB/BC

---

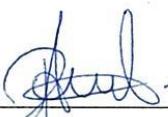
---

IEURE AMARAL ROLIM

**CONTRIBUIÇÕES PARA DETERMINAÇÃO DO INCREMENTO DOS NÍVEIS DE  
RUÍDO DEVIDO A SONORIZADORES TRANSVERSAIS EM VIAS URBANAS**

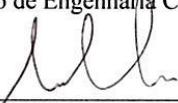
Dissertação submetida e defendida em 27 de julho de 2011 e aprovada pela banca examinadora  
constituída pelos professores:

Aprovado em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_



PROFESSOR DOUTOR RICARDO ALMEIDA DE MELO

PPGEUA/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/CT/UFPB-ORIENTADOR



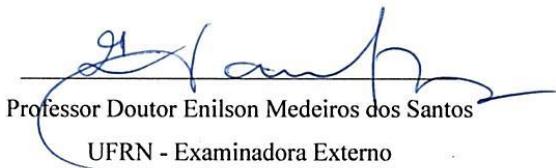
PROFESSOR DOUTOR ROBERTO LÉAL PIMENTEL

PPGEUA/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental/CT/UFPB-Co-orientador



Professora Doutora Solange Maria Leder

PPGEUA/UFPB - Examinadora Interna



Professor Doutor Enilson Medeiros dos Santos

UFRN - Examinadora Externo

Aprovado em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

---

---

*A Deus que, nos momentos mais difíceis, não  
me deixou desistir, a minha esposa Nathiene  
Patrícia e aos meus filhos Andressa, Moacir,  
Iuska, Myllena e Nathália Maria Lynn e aos  
meus pais Abdiel e Socorro pelo incentivo  
constante aos estudos, carinhosamente dedico.*

---

## AGRADECIMENTOS

A Deus que me fortalece a cada passo da longa caminhada da vida, e que, em meios aos obstáculos, me ajuda a vencer.

A minha esposa e companheira Nathiene Patricia Ferreira Rolim, que sempre me estimulou nas horas mais difícil para continuar firme e não desistir.

A minha mãe e familiares que, com suor, me proporcionaram uma educação suficiente, me ensinando a conquistar meus objetivos.

Aos amigos e orientadores Dr. Ricardo Almeida de Melo e Dr. Roberto Leal Pimentel, pela paciência, cooperação, presteza na realização deste estudo.

Aos Estudantes de graduação em engenharia civil Diego Meira de Lacerda e Wekisley Monteiro da Silva que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho auxiliando nas realizações dos ensaios no campo de prova nas primeiras horas do dia demonstrando compromisso e dedicação com a pesquisa realizada;

Aos voluntários da ciência que, com estudo e dedicação, contribuíram para a construção de uma sociedade mais justa e solidária, edificada no respeito ao próximo e na preservação do meio ambiente e no bem-estar da população.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros e humildes agradecimentos.

---

A ciência é uma construção completamente humana movida pela fé de que, se sonharmos, insistimos em descobrir, explicarmos e sonharmos de novo, o mundo de algum modo se tornará mais claro e toda a estranheza do universo se mostrará interligada e com sentido.

E. O. Wilson

---

## RESUMO

Os sonorizadores são dispositivos físicos empregados para a segurança viária. No entanto, a emissão de ruídos gerados durante a sua operacionalização compromete a qualidade sonora do ambiente do entorno e acarreta incômodos aos moradores da vizinhança gerando conflitos para gestores e autoridades. Este estudo busca determinar o incremento do ruído que o sonorizador padrão brasileiro proporciona com relação aos níveis de intensidade sonora do tráfego em dB(A), bem como, se os valores encontrados atendem aos níveis de intensidade sonora adotados como critérios pela legislação. A partir dos dados obtidos nas medições dos níveis de pressão sonora em dB(A) registrados nos ensaios realizados no campo de prova instalado no interior da Universidade Federal da Paraíba com vários tipos de veículos com velocidades conhecidas interceptando ou não o sonorizador transversal a via. Com os resultados, foi desenvolvido um procedimento a partir da passagem individual de cada veículo fora do sonorizador pertencente as três classes de veículos adotadas (leve, passeio e pesados) e estruturado um modelo de predição de ruídos capaz de estimar o nível de pressão sonora em dB(A) para uma composição de tráfego conhecida facilmente encontrada em circulação nas vias urbanas e calcular o incremento do ruído em dB(A) quando o sonorizador padrão brasileiro for instalado na via. Para avaliar a confiabilidade do modelo encontrado foram selecionados seis modelos disponíveis na literatura sendo estes: Kinsler *et al.*, (1982), HMSO, (1988), Celenk *et al.*, (1997), Calixto *et al.*, (2001), Pamanikabud *et al.*, (2002), Tansatcha *et al.*, (2005). Para calibração dos modelos foram adotadas 03 vias urbanas do município de João Pessoa tendo-se comprovado que o modelo desenvolvido apresenta resultados muito próximos dos modelos do Kinsler e do HMSO; como resultado foi calculado o incremento no nível de pressão sonora com a instalação do sonorizador padrão brasileiro na via, sendo este a partir de 6 dB(A) para o entorno. Este estudo, poderá servir para suprir algumas lacunas da legislação em vigor a exemplo da distância que as edificações lindeiras devem ficar do sonorizador sem que estejam expostas aos distúrbio sonoros, contribuindo na construção de um modelo sustentável de gestão do tráfego urbano a partir da identificação dos corredores de tráfego responsáveis pela alteração da qualidade sonora do ambiente urbano.

**Palavras-chaves:** sonorizador transversal. bandas rugosas. guias sonoras. modelo de predição de ruído. edificações lindeiras. Poluição Sonora. Ruído do Tráfego.

---

## ABSTRACT

Rumble strips are physical devices used for road safety. However, the noise emission generated during their operation compromises sound quality of the surrounding environment and disturbs neighborhood residents. That generates conflicts for local managers and authorities. This study aims to determine the increase in noise produced by Brazilian standard rumble strips in relation to traffic sound intensity levels in dB (A), as well as establishing if the increase meets the sound intensity levels adopted as criteria by national legislation. Measurements of sound pressure levels in dB (A) were recorded in tests performed in a pilot test field installed at Federal University of Paraíba. In the tests, several types of vehicles at known speeds were used, with and without a rumble strip. A procedure was developed through the individual passage of each vehicle belonging to the three adopted classes (light, saloon and heavy vehicles) without rumble strips. After that, a noise prediction model was structured. The developed model is capable of estimating the sound pressure level in dB (A) for a known traffic composition easily found in circulation on urban roads. Besides, it can calculate the noise increment in dB (A) when Brazilian standard rumble strips are installed in the road. In order to evaluate the reliability of the model, six models available in the literature were selected: Kinsler et al. (1982), HMSO (1988), Celenk et al. (1997), Calixto et al. (2001), Pamanikabud et al. (2002), Tansatcha et al. (2005). To calibrate the model, 03 urban roads of João Pessoa were selected. It was proved that the developed model's results were very close to those of Kinsler and HMSO models; as a result, the increase in sound pressure level caused by Brazilian standard rumble strips was calculated, resulting in values above 6 dB (A) at the surrounding area. This study may be useful in filling some gaps of current legislation, such as the determination of a distance that buildings should remain from rumble strips without being exposed to noise disturbances. Therefore, this study adds to the construction of a sustainable model of urban traffic management, considering the identification of traffic corridors responsible for changing the sound quality of urban environment.

**Keywords:** Transverse rumble strips. alert strips. sleeper lines. noise prediction model. neighboring buildings. noise pollution. traffic noise.

---

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1	Gráfico demonstrando o nível equivalente de Pressão sonora Laeq em dB(A) para 30 leituras.....	22
Figura 2.2	Padrão construtivo dos Sonorizadores.....	24
Figura 2.3	Sonorizadores de borda em rodovias nos E.U.A.....	26
Figura 2.4	Aplicações dos sonorizadores de borda.....	26
Figura 2.5	Sonorizadores de centro em rodovias nos E.U.A.....	27
Figura 2.6	Sonorizador transversal em rodovias nos E.U.A.....	28
Figura 2.7	Máquina construindo as ranhuras com as dimensões adotas no Estado Nova York.....	30
Figura 2.8	Dimensões das ranhuras cilíndricas.....	30
Figura 3.1	Campo de prova com sonorizador instalado.....	51
Figura 3.2	Croqui do campo de prova.....	52
Figura 3.3	Medição do ruído gerado pela passagem do veículo sobre os sonorizadores.....	54
Figura 3.4	MNPS – Medidor de nível Sonoro classe 2.....	54
Figura 4.1	Representação da equação 1. Para o cálculo da distância critério em função de Valores de NCA-Nível Critério de Avaliação.....	84

---

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b>	Níveis critérios de avaliações estabelecidos na NBR 10151(2000).	22
<b>Tabela 4.1</b>	Níveis de pressão sonora (Lpmax) em dB (A) pela passagem de veículos leves até 1 tonelada sobre e fora do sonorizador medidos a uma distância de 15 metros – CCS – com sonorizador; SS – sem sonorizador	63
<b>Tabela 4.2</b>	Níveis de pressão sonora (Lp Max) em dB (A) pela passagem de veículos leves até 1 tonelada sobre e fora do sonorizador medidos a uma distância de 5 metros. – CCS – com sonorizador ; SS – sem sonorizador	64
<b>Tabela 4.3</b>	Passagem das motocicletas sobre e fora do sonorizador a 15 metros	65
<b>Tabela 4.4</b>	Passagem das motocicletas sobre e fora do sonorizador a 5 metros	66
<b>Tabela 4.5</b>	Passagem dos veículos diesel acima de 1 tonelada sobre e fora do sonorizador a 15 metros.	67
<b>Tabela 4.6</b>	Passagem dos veículos diesel sobre e fora do sonorizador a uma distância de 05 metros.	68
<b>Tabela 4.7</b>	Níveis de pressão sonora Laeq em dB (A) pela passagem de veículos leves até 1 tonelada sobre e fora do sonorizador medidos a uma distância de 5 metros. CCS – com sonorizador; SS – sem sonorizador.....	69
<b>Tabela 4.8</b>	Níveis de pressão sonora Laeq em dB (A) pela passagem de motocicletas sobre e fora do sonorizador medidos a uma distância de 5 metros. CCS – com sonorizador; SS – sem sonorizador.....	70
<b>Tabela 4.9</b>	Níveis de pressão sonora Laeq em dB(A) pela passagem de veículos diesel acima de 1 tonelada sobre e fora do sonorizador medidos a uma distância de 5 metros.	71
<b>Tabela 4.10</b>	Incremento do N.P.S. em valores de pico pela passagem dos veículos no sonorizador em relação ao ruído ambiente e a passagem fora.	73
<b>Tabela 4.11</b>	Valores das variáveis presentes por faixas de tráfego na Av. José Américo de Almeida:	74
<b>Tabela 4.12</b>	Valores das variáveis presentes por faixas de tráfego na Av. Presidente Epitácio Pessoa:	74
<b>Tabela 4.13</b>	Valores das variáveis presentes por faixas de tráfego na Av. Senador Rui Carneiro:	75
<b>Tabela 4.14</b>	Valores dos níveis de pressão sonora em várias avenidas obtidos com a aplicação do RIRU por faixas de tráfego:	79

---

Tabela 4.15	Valores da velocidade média por faixa, distâncias da faixa e ciclos do ruído ambiente (Lra) na composição do fluxo.	80
Tabela 4.16	Valores referencias obtidos em dB (A) para cada categoria de veículos obtidos a partir do campo de prova:	80
Tabela 4.17	Níveis de pressão sonora equivalente em dB (A) calculados pelo RIVU(2011) para o ruído de tráfego sem e com a instalação de sonorizadores nas vias em zona urbana.	81
Tabela 4.18	Calibração dos modelos	82
Tabela 4.19	Distâncias dos sonorizadores para edificações lindeira referente à passagem de veículos leves até uma tonelada com diferentes velocidades (40, 50 e 60 km/h)	85
Tabela 20	Distâncias dos sonorizadores para edificações lindeiras referentes à passagem de motocicletas de 50 e 150 cilindradas, com diferentes velocidades (40, 50 e 55 km/h)	85
Tabela 21	Distâncias dos sonorizadores para edificações lindeiras referentes a passagem de veículos diesel acima de uma tonelada com velocidades de 40 km/h e 50 km/h.	86
Tabela 22	Distância dos sonorizadores para edificações lindeiras com relação ao ruído ambiente, para velocidades de 40, 50 e 60 km/h.	87

---

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	12
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA	12
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivos geral	15
1.2.2	Objetivo específico	16
1.3	ESCOPO DA DISSERTAÇÃO	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	19
2.1	IMPACTOS AMBIENTAIS DO RUÍDO	19
2.2	SONORIZADORES	23
2.3	PROGRAMAS E PROJETOS EUROPEUS DE ATENUAÇÃO E REDUÇÃO DO RUÍDO DO TRÁFEGO	35
2.4	INDICADORES DE RUÍDO	36
2.4.1	Equação do decaimento Sonoro	36
2.4.2	Cálculo do nível de pressão sonora equivalente - Laeq	38
2.4.3	Cálculo do nível de ruído ambiente (Lra.)	38
2.4.4	Níveis percentuais estatísticos (L <sub>n</sub> , L <sub>10</sub> e L <sub>90</sub> )	38
2.4.5	Modelos específicos para cálculo do ruído de tráfego em rodovias.	39
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	46
3.1	CONCEPÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DOS SONORIZADORES NO CAMPO DE PROVA.	49
3.1.1	Equipamentos e condições dos ensaios	53

---

<b>3.1.2 Tamanho da Amostra</b>	56
3.2 DIRETRIZES E CONDIÇÕES PARA ELABORAÇÃO DE UM MODELO DE PREDIÇÃO DE RUÍDO.	57
3.3 ESCOLHA DAS VIAS URBANAS – ESTUDO DE CASO	59
3.4 SELEÇÕES DOS MODELOS DE PREDIÇÃO DE RUÍDO VEÍCULAR DISPONÍVEIS NA LITERATURA	59
3.5 DETERMINAÇÃO DO INCREMENTO NO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE EM dB(A) DEVIDO AOS SONORIZADORES.	59
3.6 DETERMINAÇÃO DAS DIUSTÂNCIAS ENTRE OS SONORIZADORES E AS EDIFICAÇÕES LINDEIRAS.	60
<b>4 DISCUSSÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS</b>	62
REGISTRO DE DADOS A PARTIR DOS ENSAIOS REALIZADOS NO CAMPO DE PROVA COM A PASSAGEM INDIVIDUAL DOS VEÍCULOS DE CLASSE	
4.1 I, FORA E SOBRE OS SONORIZADORES PADRÃO BRASILEIRO COM MEDIDOR DE NÍVEL SONORO CLASSE 01 POSICIONADO A 05 METROS E O MEDIDOR DE NÍVEL SONORO CLASSE 02 POSICIONADO A 15 METROS.	62
<b>4.1.1 Valores do nível de pressão sonora (Lpmax) valor de Pico em dB (A).</b>	62
<b>4.1.2 Valores do nível de pressão sonora equivalente (L<sub>Aeq(5s)</sub>) em dB(A).</b>	68
<b>4.1.3 Análise das variações do nível de pressão sonora em valor de pico - Lpmax em dB(A) em funções das distintas velocidades adotadas nos ensaios para diferente categoria de veículos comparados com a variação do ruído ambiente no campo de prova;</b>	71
4.2 SELEÇÕES DAS VIAS URBANAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO MODELO.	73

---

4.3	ELABORAÇÃO DO MODELO DE PREDIÇÃO MDE RUÍDO PARA UM FLUXO DE VEÍCULOS QUALQUER NA VIA URBANA.	75
4.4	CÁLCULO DO INCREMENTO NO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE EM dB(A) COM A INSTALAÇÃO DOS SONORIZADORES.	78
4.5	APLICAÇÕES DOS MODELOS DISPONÍVEIS E SELECIONADOS NA LITERATURA, PARA A VALIDAÇÃO OU NÃO DO MODELO DESENVOLVIDO NESTE ESTUDO USANDO AS CONDIÇÕES DE TRÁFEGO LOCAL LEVANTADAS POR Melo <i>et al.</i> (2010)	81
4.6	DISTANCIAS ENTRE OS SONORIZADORES E AS EDIFICAÇÕES LINDEIRAS APLICANDO A EQUAÇÃO DO DECAIMENTO.	83
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	88
	REFERENCIAS	90

---

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA.

O crescimento populacional nos centros urbanos associado ao aumento da frota de veículos em circulação gera a necessidade de melhoria da mobilidade e vem proporcionando o aumento no nível de ruído, intensificando também os riscos à saúde e o bem-estar social. O ruído do tráfego de veículos vem assumindo uma importância preocupante e cada vez mais tem sido objeto de estudos nas academias de ensino e pesquisas para compreendê-lo e auxiliar na formulação de políticas públicas de controle da qualidade sonora e ambiental, atualmente, comprometida com a política de incentivo fiscal estimulando a compra de automóveis, o que vem provocando o aumento da frota e da circulação de veículos, o tráfego aéreo e demais ruídos urbanos (sirenes, obras, etc.).

Dentro do tráfego rodoviário urbano, os impactos causados ao meio ambiente são acintosos e significativos. Eles vão desde a poluição atmosférica com emissões de gases integrantes do efeito estufa, passando pelas alterações no uso dos solos e mudanças físicas territoriais, até a poluição sonora proveniente de veículos automotores. Este tipo de poluição consiste na emissão de ruídos que podem causar prejuízos permanentes à saúde e ao bem-estar das pessoas expostas (ROLIM, 2010).

Ao contrário do trânsito em rodovias, nas áreas urbanas os veículos dificilmente se movem com fluidez. As velocidades são baixas e médias com veículos em marcha lenta e motores com altas rotações dominando claramente o ruído produzido pelo conjunto motor, atrito dos pneus no solo e aerodinâmica do veículo. Geralmente, tanto automóveis leves como veículos pesados transitam nas vias urbanas em regime próximo à máxima potência e, consequentemente, com o nível sonoro elevado.

No trânsito em rodovias, o ruído advindo do fluxo de veículos é proveniente das altas velocidades, das freadas bruscas e da passagem dos diferentes tipos de veículos sobre dispositivos de segurança viária, tais como sonorizadores e ondulações transversais. Anteriormente o ruído produzido neste ambiente pouco incomodava aos pedestres e aos demais

---

motoristas, uma vez que as rodovias estavam em áreas de expansão das cidades, muitas das vezes, margeadas apenas por vegetação. Contudo o crescimento das cidades favoreceu a ocupação das margens das rodovias, gerando conflitos entre a população residente nestes locais com o órgão gestor do trânsito, devido às modificações da qualidade sonora do ambiente.

Com o intuito de reduzir o número de acidentes de trânsito nas rodovias, também causados pelo excesso de velocidade e/ou pelo cansaço do condutor do veículo, vários países utilizam sonorizadores como equipamentos redutores de velocidade, pois proporcionam ao condutor um sinal audível e tático. Estes equipamentos são úteis, uma vez que alertam os motoristas sobre as condições de estrada que merecem atenção especial e, desta forma, reduzem os riscos de acidentes no trânsito (Meyer, 2000).

O sonorizador é um equipamento importante para a segurança dos condutores e pedestres. Contudo, seu uso nas rodovias em trechos urbanos é motivo de preocupação. A emissão de ruídos gerados durante a sua operacionalização em vias e rodovias comprometem potencialmente a qualidade sonora do ambiente do entorno, podendo acarretar incômodos aos moradores expostos, ao atingir valores superiores aos níveis limites adotados pelas legislações ambientais e de trânsito do Brasil.

O crescente número de veículos em circulação no Brasil, resultado de uma política de estímulo ao consumo colocado em prática nos últimos anos intensifica os problemas ambientais, principalmente, a elevação do nível de ruído no ambiente. A colocação dos sonorizadores próximo às residências é uma situação de potencial desconforto decorrente da produção de níveis de pressão sonora potencialmente acima dos níveis critério estabelecido pela Resolução 01/90 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), além de estar em desacordo com a legislação de trânsito brasileira.

Nestas condições, surge a reação da comunidade do entorno, devido à alteração da qualidade sonora do ambiente. Desta forma, é necessário determinar a contribuição deste equipamento na alteração da qualidade sonora do ambiente no entorno, através da avaliação do incremento dos níveis de pressão sonora emitido pela passagem de veículos sobre o sonorizador padrão brasileiro.

Para o órgão gestor do trânsito, a segurança de condutores e pedestres deve ser prioridade. Diante do risco potencial de acidentes, é justificada a instalação de dispositivos de

---

segurança no trânsito durante o período de obras na via e em estradas com trechos prolongados de retas, que causam monotonia e se configuram um risco para o condutor ou ainda, condições outras que exijam a atenção dos condutores para reduzir a velocidade do veículo tais como cruzamentos, semáforo não visível à frente, mudança de zonas como entrada ou saída de áreas urbanas.

No Brasil, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) é o órgão responsável pela regulamentação dos sonorizadores. A resolução 39/98 deste Conselho estabelece os padrões e critérios para a instalação de ondulações transversais e sonorizadores nas vias públicas de acordo com o parágrafo único do Art. 94 do Código de Trânsito Brasileiro. Ao estabelecer as condições de uso dos sonorizadores em vias urbanas o CONTRAN foi imperativo na proibição de sua aplicação próximo a edificações lindeiras, sem, contudo especificar as distâncias. O modelo estrutural do sonorizador é definido no anexo II da referida Resolução.

O padrão recomendado possui limitações quanto a sua aplicação, o que suscita alguns cenários de duvidas a serem considerados:

As restrições existentes na legislação atual para o emprego do sonorizador como fonte de emissão de ruído e vibrações, ou seja, empregados na sinalização de obras em rodovias que se estendem em áreas urbanas são adequados para assegurar a qualidade sonora do entorno?

O fluxo de veículos que interceptam o sonorizador em baixa velocidade produz um acréscimo ao ruído do tráfego no local e que se propaga para o entorno com níveis sonoros elevados, estes atendem aos níveis critérios estabelecidos pela resolução 01/90 do CONAMA? E causam incômodos?

Os modelos de predição de ruídos para fluxo de veículos em rodovias encontrados na literatura não avaliaram o deslocamento em vias urbanas onde predominam baixas velocidades, estes podem ser empregados para o fluxo nas vias urbanas?

O marco regulatório no Brasil, não estabelece a distância que os sonorizadores devem ficar das edificações lindeiras na rodovia em função dos padrões de qualidade sonora estabelecidos pela resolução de n. 01/1990 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. A presença de sonorizadores em rodovias na área urbana é motivo de reclamações pela vizinhança residente próximo ao local pelo elevado nível de ruído gerado, é possível

---

determinar as distâncias que os sonorizadores pode ser instalado na rodovia sem alterar a qualidade sonora do local?

Diante da dificuldade para as medições nas vias urbanas de forma segura, foi possível a estruturação de um campo de prova em condições de realizações de ensaios sonoros com veículos individualmente de categorias diferentes que compõem a frota em circulação no município de João Pessoa?

Este estudo propõe a determinação das distâncias para edificações lindeiras que os sonorizadores podem ser instalados, adotando-se como critério os padrões de qualidade sonora assegurados pela 01/1990 do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. O estudo propõe ainda o desenvolvimento de um modelo de predição de ruído para identificar e quantificar o incremento do nível de ruído devido a instalação de sonorizadores em via urbana.

Como o estudo proposto foi pouco explorado no Brasil, recorreu-se as experiências internacionais disponibilizadas em várias fontes, com o objetivo de subsidiar a elaboração de um modelo de predição de ruído e identificar o incremento do nível de pressão sonora em dB(A) com a instalação de sonorizadores nas vias no perímetro urbano.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Propor distâncias para que os sonorizadores padrão brasileiro devem ficar das edificações lindeiras em via inseridas na zona urbana e desenvolver um procedimento para avaliar o valor em dB(A) do nível de pressão sonora equivalente emitido pela passagem de um fluxo de veículos na faixa de rolamento e sobre os sonorizadores transversais à via, em zona urbana, calculando o incremento do ruído em dB(A) com a aplicação de modelo de previsão de ruído a ser desenvolvido a partir dos ensaios no campo de prova.

---

### 1.2.2 Objetivos Específicos

1. Elaborar modelo matemático para predizer o nível de pressão sonora médio de um fluxo de veículos em dB (A) a partir do nível de pressão sonora médio calculado e obtido através das medições em campo de prova, pela passagem individual sobre e fora dos sonorizadores, de veículos pertencentes a 03 (três) categorias, para velocidades distintas;

1.1. Verificar a influência sonora emitida por composições diferentes de veículos e em condições variáveis de velocidade durante a passagem fora e sobre os sonorizadores padrão brasileiro, na integração do ruído ambiental;

1.2. Calcular em dB (A) o ruído emitido por fluxo de veículos com composição e velocidade conhecidas, considerando a passagem fora dos sonorizadores no campo de prova de um único veículo de diversas categorias com diferentes velocidades, e comparar com os resultados de outros modelos existentes na literatura, para avaliar a eficiência do modelo de estimativa de ruído de fluxo proposto.

1.3. Comparar os resultados obtidos de estimativa de nível de pressão sonora aplicando os modelos (proposto e outros da literatura) com as medições realizadas em 03(três) vias urbanas do estudo de caso, de modo a avaliar a influência de composições com diferentes percentuais de tipos de veículos e em condições variáveis de velocidade durante a passagem fora dos sonorizadores, no cálculo do nível de pressão sonora do fluxo para o intervalo de tempo de 01 hora em dB (A);

1.4. Calcular o incremento em dB (A) ao ruído gerado por um fluxo de veículos que interceptam os sonorizadores padrão brasileiro instalados nas vias, partindo-se dos níveis de pressão sonoro gerados a partir da passagem individual dos veículos de classe i, fora e sobre os sonorizadores no campo de prova para velocidades conhecidas. Calcular o nível de pressão sonora emitido em dB(A) para o ambiente circunvizinho pelas diversas composições de fluxo de veículos

---

em diferentes faixas de velocidades, em 03 (três) vias urbanas consideradas como casos de estudo no município de João Pessoa.

1.5. Estabelecer distâncias limites entre os sonorizadores a serem instalados na via em área urbana e as edificações lindeiras existentes, sem comprometer a qualidade sonora do ambiente conforme a legislação ambiental em vigor.

### 1.3 ESCOPO DA DISSERTAÇÃO

1. No capítulo dois, recorreram-se as fontes disponíveis na literatura com conceitos, expressões matemáticas e experiências sobre aplicações de sonorizadores em vias e rodovias, contemplando alguns modelos de predição de ruídos aplicados ao tráfego de veículos. Vale ressaltar que poucas informações foram publicadas sobre este tema no Brasil;

2. No capítulo três, apresenta-se a metodologia, com adoção e descrição dos procedimentos adotados um campo de prova e o desenvolvimento para a elaboração de um modelo novo para o cálculo do nível do pressão sonoro em dB(A) usando como base de cálculos os registros obtidos pela passagem fora e sobre os sonorizadores dos veículos classe i com velocidades conhecidas. A partir dos estudos de caso, adoção dos modelos encontrados na literatura e a verificação da validação do modelo novo. Por fim o cálculo do incremento do nível de intensidade sonoro em dB(A) pela suposta necessidade de instalação dos sonorizadores na via e a determinação da distância que os sonorizadores deverão ficar das edificações lindeiras na via. A descrição de todos os procedimentos adotados a partir dos conceitos, experiências e modelos identificados no capítulo anterior;

3. No capítulo quatro, apresentam-se os dados e resultados obtidos a partir dos ensaios realizados no campo de prova e apresentados através de tabelas. Também são apresentados o desenvolvimento do modelo novo a sua validação e a sua aplicação para calcular o incremento do nível de ruído em dB(A) ao ruído gerado por um fluxo qualquer, bem como calcular as distâncias que os sonorizadores padrão brasileiro

---

devem ficar das edificações lindeiras em zona urbana; com apresentação dos resultados alcançados;

4.O capítulo cinco contém as considerações finais, com as recomendações e vantagens da aplicação do modelo desenvolvido em vias urbanas.

---

## 2.REVISÃO DE LITERATURA

Este estudo tem seu foco voltado para o impacto do ruído causado pela passagem de veículos sobre sonorizadores. Estes equipamentos, associados à sinalização de trânsito, contribuem para a segurança viária e atenuam alguns tipos de acidentes. Mas, quando são empregados no ambiente urbano, tornam-se uma fonte de ruído e objeto potencial de reclamações da população do entorno. Pouco empregados no Brasil, os sonorizadores são utilizados com mais frequência em outros países.

Trabalhos desenvolvidos e publicados na literatura mostram resultados de investigações científicas sobre modelos de sonorizadores existentes, índice estatístico de ruído ambiental, metodologias para desenvolvimento de procedimentos experimentais, modelos de predição de ruído do tráfego, referências para o entendimento, comparação e validação de modelo de predição de ruído desenvolvidos a partir de ensaios realizados em campo de prova, cuja aplicação serve para mensurar o impacto sonoro com instalação de sonorizadores nas vias públicas.

Ao realizar a revisão da literatura apresentam-se inicialmente os conceitos de impactos ambientais do ruído sobre ambiente urbano, a definição de sonorizadores, aplicações no Brasil e em outros países. Avaliação das equações do decaimento sonoro considerando as fontes pontuais e em linha, o cálculo do Laeq – nível equivalente continuo segundo o anexo da NBR 10151. Modelos de predição de ruídos disponíveis para o cálculo do ruído emitido por um fluxo de veículo em vias e rodovias.

### 2.1 IMPACTOS AMBIENTAIS DO RUÍDO

O som é um fenômeno físico tão comum na rotina do ambiente urbano o que dificilmente se leva a apreciar todas as suas formas de manifestações, assim o som indesejável é chamado de ruído. Derisio (2007).

Segundo Maia (2002) O som se caracteriza com flutuações de pressão em um meio elástico. Quando este meio é o ar e as flutuações de pressão atingem o ouvido, surge a

---

sensação de audição. O som é uma forma de energia e é transmitido pela colisão das moléculas do ar (meio), uma contra as outras sucessivamente.

Reforça Maia(2002) A membrana timpânica do ouvido médio, vibra de acordo com as excitações das frentes de ondas sonoras do ambiente externo com a mesma frequência, sendo então direcionadas e amplificadas para o ouvido interno, onde o nervo auditivo envia impulsos para o cérebro dando origem a sensação auditiva.

Segundo Nunes (2008) os níveis de intensidade sonora é uma sensação auditiva medida em escala logaritma dB com ponderação na curva A por determinação legal e não linear. Como forma de garantir a qualidade sonora do ambiente e a integridade para trabalhadores e a comunidade em geral os níveis critérios são estabelecidos e não devem ser ultrapassados pelos níveis gerados pelas mais diversas atividades antrópicas no ambiente.

Segundo a ABNT 10152 (1997), o ruído ambiental é definido como o que interfere no comportamento relativo à comunicação, atividade de concentração ou de um estado desejado como o relaxamento e sono. Desta forma, ele é uma importante fonte de estresse que pode alterar o comportamento e a saúde das pessoas expostas. O ruído pode ser definido ainda como o som emitido com múltiplas amplitudes e frequências, ocorrendo ao mesmo tempo de forma não harmônica, causando incômodo e passando a ser desagradável ou indesejável ao ouvido humano.

Reforça Nunes (2008) O ruído do tráfego sob todos os aspectos, incluindo o seu espectro de frequências não se identifica a presença de harmônicos, onde se verifica um perfeito enquadramento ao conceito de ruído.

Para Calixto at all(2002) o ruído do tráfego em grandes avenidas é um dos principais fatores de degradação da qualidade sonora do ambiente urbano. Em vários países, ele é reconhecido como um problema de saúde pública. Sabe-se que a poluição sonora gerada no ambiente das cidades raramente afeta o sistema auditivo, mas pesquisas mostram que a resposta humana ao ruído envolve o sistema cardiovascular e o sistema neuroendócrino (Coelho, 1996, Recuero, 1987, Calixto,2002).

A poluição sonora é um impacto ambiental causado pelo aspecto ambiental da emissão de ruídos, em desacordo com a legislação ambiental brasileira em vigor. Ela é decorrente de várias atividades humanas na zona urbana, a exemplo do fluxo de pessoas, obras e tráfego de veículos automotores. Os impactos sobre o organismo das pessoas expostas, principalmente, nos corredores de tráfego e nos centros urbanos

---

comprometem o desempenho, a aptidão e a própria saúde do indivíduo (Rolin at all, 2010)

As consequências da exposição prolongada ao ruído têm sido relatadas na literatura, como o comprometimento da fala e, consequentemente, da comunicação humana, do sono e da concentração.

Os efeitos do ruído no ambiente dependem de características acústicas do som, a exemplo da sonoridade e tempo de exposição, e também de aspectos da situação do ruído que podem envolver processamento cognitivo, como expectativas quanto ao futuro desenvolvimento da exposição ao mesmo. Além do desgaste gerado no enfrentamento da questão, outras características individuais, em especial a sensibilidade ao ruído, podem influenciar de forma negativa na reação da população à sua exposição.

No entanto, o ruído ambiental não é apenas uma questão pessoal, mas também um problema social que independe da reação da maior parte dos indivíduos. Para garantir conforto acústico do ambiente as Resoluções 01 e 02/90 CONAMA estabelecem os procedimentos e os níveis critérios de avaliação visando a assegurar a qualidade sonora do ambiente elas são válidas em todo território nacional, sendo outorgado aos Estados e municípios o poder de legislar quanto ao caráter mais restritivo e não ao permissivo. Desta forma, em qualquer ambiente, seja rural ou urbano, indústrias, casas de festas e outros estabelecimentos devem seguir os padrões dessas resoluções e/ou de Estados e municípios, quando estes possuírem regulamentação específica. As atividades emissoras de ruídos, consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras na forma da lei, devem ser licenciadas e fiscalizadas pelos órgãos competentes, a fim de garantir a qualidade de vida da população com a observação dos níveis critérios de avaliação apresentada na tabela 2.1 referente a tabela 1 da Norma Brasileira Regulamentadora NBR 10151(2000) da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT.

A metodologia recomendada pela CONAMA 01/90, faz exigências quanto à qualidade do instrumento usado nas medições. Os medidores de nível de pressão sonora devem possuir especificação da Norma IEC 60 651(*International Electrotechnical Commission*) – *Sound level meters* (operando na escala A).

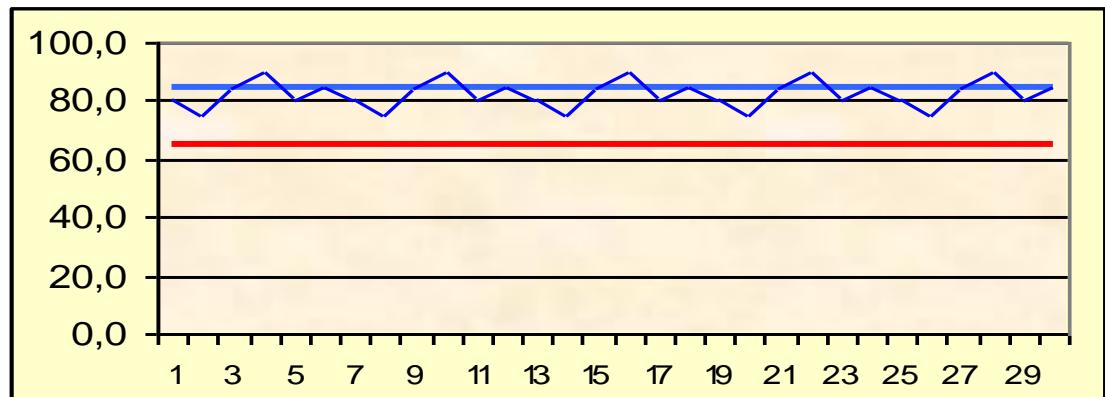
**Tabela 2.1 - Níveis critérios de avaliações estabelecidos na NBR 10151(2000).**

Nível critério de avaliação, para ambientes externos – dB(A)

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

Fonte: NBR 10151 (2000)

Segundo a NBR 10151(2000) o nível de pressão sonora equivalente ( $L_{aeq}$ ), é o nível de pressão sonora ponderado na escala A, calculado a partir do valor médio quadrático da pressão sonora medidos durante um determinado intervalo de tempo, expressos em dB (A) representado na Figura. 2.1. Nesta, a linha em azul corresponde ao  $L_{aeq}$  em dB (A) medidos para o tráfego de ônibus e a linha em vermelho o nível critério adotado pela norma para uma área comercial com vocação recreacional em horário diurno que corresponde ao período que não deve ter inicio antes das 07 horas da manhã e não pode se estender além das 22 horas. NBR 10151(2000). Cabe ainda destacar, o conceito de nível de ruído ambiente ( $L_{ra}$ ) corresponde ao nível de pressão sonora ponderado na escala A, medidos durante um determinado intervalo de tempo na ausência da fonte sonora objeto da avaliação, expresso em dB (A).

**Figura 2.1 – Gráfico demonstrando o nível equivalente de Pressão sonora  $L_{aeq}$  em dB(A) para 30 leituras.**

Fonte: Elaborado pelo autor.

---

## 2.2 SONORIZADORES

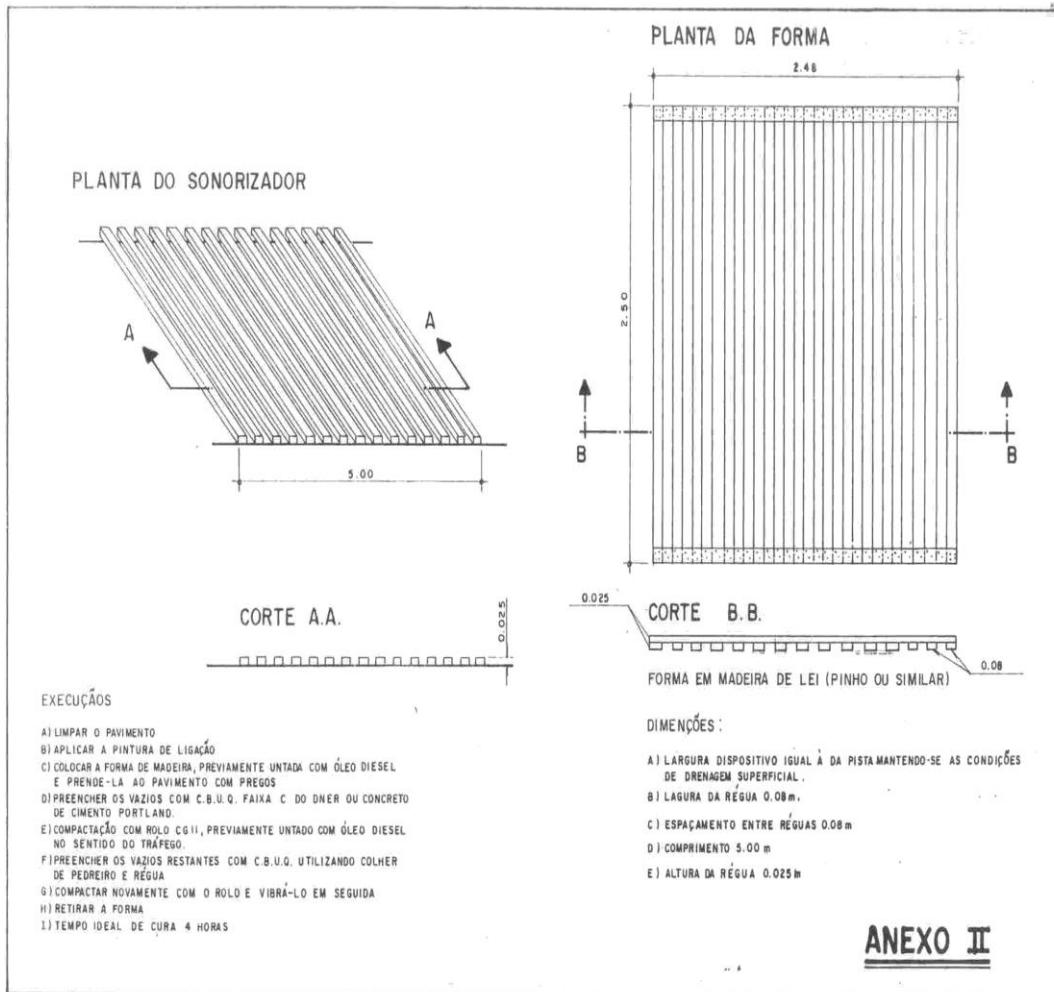
Sonorizadores são dispositivos que servem para alertar os condutores sobre a presença de elementos no trecho da via à jusante, tais como lombada física ou eletrônica, interseções, faixa interditada, travessia de pedestres entre outros. Os objetivos são reduzir a velocidade do fluxo e aumentar da segurança no trecho, como explica o Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (1997).

Internacionalmente, esse dispositivo é denominado de *Transverse Rumble Strip*, *Rumble strip*, *Bande Bruissante Transversal*, *Bande Bruissante*, *Barre Preventiva Transversal* ou *Barre Preventiva*. No Brasil, ele também pode ser chamado de “guias sonoras”, de “faixas sonorizadoras antiacidentes” ou “faixas vibratórias antiacidentes”.

O artigo 94 do Código de Transito Brasileiro (Lei federal 9503/1997) proíbe a presença de qualquer obstáculo à livre circulação de veículos e pedestres. Em seu parágrafo único, ainda proíbe a utilização de ondulações transversais e de sonorizadores como redutores de velocidades, com exceção dos casos especiais definidos pelo órgão gestor competente. Normalmente, isso ocorre quando não há edificações lindeira nas vias urbanas e nas rodovias e quando existirem condições de insegurança envolvendo risco de acidentes para condutores e pedestres.

O CONTRAN regulamentou a aplicação dos sonorizadores através da Resolução 39/98 e apresentou o padrão construtivo destes equipamentos no Brasil, de acordo com o anexo II representado pela Figura 2.2.A finalidade é alertar o condutor quanto à necessidade de redução de velocidade. Os sonorizadores devem sempre ser acompanhados da sinalização vertical. Uma vez instalados próximos a áreas habitadas, eles são alvos potenciais de reclamações dos moradores, pois o ruído adicional pode causar incômodo e compromete a qualidade sonora do ambiente.

**Figura 2.2 - Padrão construtivo dos Sonorizadores.**



Fonte: Anexo II da Resolução 39/98 do CONTRAN.

Os sonorizadores são equipamentos que devem ser empregados com o auxílio de sinalização de tráfego. Pelas suas características físicas, ao ser transposto pelos veículos em circulação, um ruído diferenciado é emitido, passível de ser percebido a distâncias consideráveis de onde foi gerado.

No Brasil, os sonorizadores só podem ser instalados na via pública se o órgão gestor da via autorizar. A proibição legal à sua instalação se aplica a proximidade do equipamento com alguma edificação considerada lindeira. Este conceito é intrinsecamente relacionado com a distância entre a edificação e a rodovia.

O Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) é o órgão deliberativo e competente para disciplinar as condições de circulação de veículos em rodovias. Ele regulamenta com maior nível de detalhamento a Lei Federal 9503, de 27 setembro de 1997 (Código de Trânsito Brasileiro). No entanto, ainda não houve a deliberação sobre a funcionalidade e aplicações dos diversos modelos de sonorizadores existentes, a exemplo de outros países, como equipamento

---

de sinalização viária, que associados a outros mecanismos, podem reduzir alguns tipos de acidentes.

Ao abordar a incipiência da política pública de prevenção a acidentes rodoviários empregando sonorizadores nas rodovias do Brasil, neste estudo, o conteúdo pesquisado apresenta-se de forma resumida quando comparado ao cenário internacional que prioriza a importância da predição do ruído proveniente do tráfego de veículos como ferramenta de planejamento e da prevenção de acidentes. Em muitos países, as políticas públicas de utilização dos sonorizadores são descritas e podem ser acessadas através de relatórios de instituições gestoras de tráfego, artigos científicos, livros e manuais de gestão de tráfego.

Países como Estados Unidos da América, Canadá e alguns membros da União Européia adotam políticas públicas de prevenção a acidentes empregando vários modelos de sonorizadores com resultados satisfatórios na redução dos acidentes do tipo *Run Off the Road* (saída de pista), saída de faixa com batidas frontais e batidas em cruzamentos e interseções entre rodovias.

Segundo o *Federal Highway Administration* (FHWA, 2010), sonorizadores são faixas executadas em forma de ranhuras ou de ondulações sobre o revestimento da pista de rolamento ou do acostamento. A textura dos sonorizadores é diferente da rodovia, o que permite a emissão de ruído no momento em que os veículos passam sobre elas. A passagem dos pneus do veículo produz um som repentino semelhante a um estrondo, ao mesmo tempo em que gera uma vibração no veículo. Estes mecanismos servem para alertar o condutor sobre uma condição de insegurança na via, induzindo a uma necessidade de diminuição da velocidade do veículo, reduzindo assim os riscos de acidentes.

Segundo o relatório da *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP, 2009), existem três tipos de aplicações para sonorizadores:

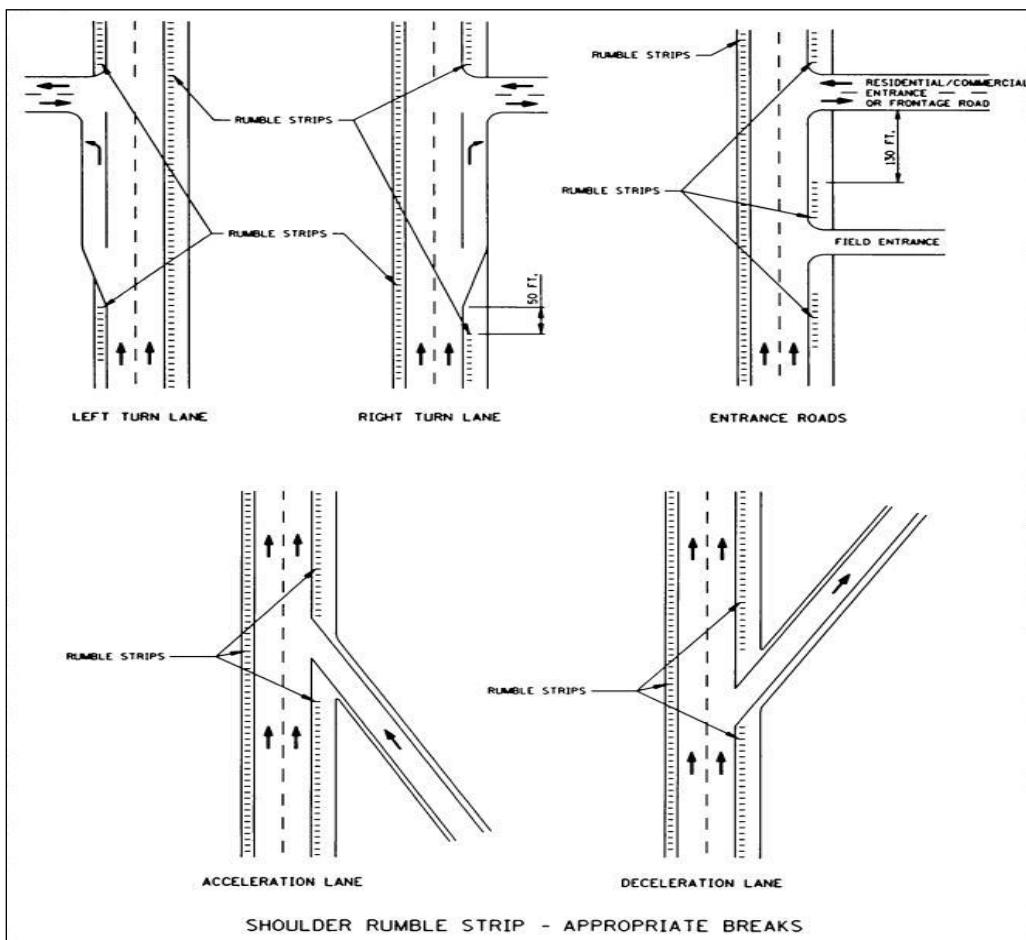
- ***Continuous Shoulder Rumble Strips***: Este é o tipo mais comum de sonorizadores. Geralmente, são aplicados na borda direita da faixa de rolamento de rodovias de alta velocidade e têm o objetivo de alertar para evitar acidentes na saída de pista. A principal aplicação deste modelo de sonorizador está relacionada a acidentes por excesso de velocidade. O objetivo não é reduzir a velocidade do veículo, mas proporcionar uma advertência complementar para os condutores que estão saindo da faixa de rolamento, especialmente, aqueles com excesso de velocidade representado na figura. 2.3.

**Figura 2.3 - Sonorizadores de borda em rodovias nos E.U.A.**



Fonte: Corkle et al (2001).

**Fig. 2.4 Aplicações dos sonorizadores de borda.**



Fonte: MDOT (2000).

Apresenta-se na figura 2.4 acima, algumas aplicações destes sonorizadores de borda no Estado de Minnesota levando em consideração as intercessões na via, o que induz aos condutores acelerar e desacelerar.

A mais recente versão do *Manual on Uniform Traffic Control Devices* - MUTCD (2009) do *Federal Highway Administration* trata de sonorizadores longitudinais, que consistem em uma série de ranhuras nas vias com ondulações de textura áspera ou ligeiramente levantadas ou conformadas no pavimento, com a função de alertar motoristas desatentos através de vibração e som que o veículo emite ao sair da pista durante uma viagem. *Shoulder rumble strips* são normalmente instalados junto à borda da faixa de rolamento. Em rodovias de duas vias, sonorizadores são, por vezes, instalados ao longo da linha central. O manual traz algumas especificações quanto à cor, evitando causar confusão com outros dispositivos de trânsito. Os Estados devem adequar seu padrão de contenciosos às diretrizes e recomendações publicadas no manual em um prazo de, no máximo, dois anos.

- ***Centerline Rumble Strips***: São aplicados no eixo central de rodovias de alta velocidade. Este tipo de sonorizador busca impedir que o veículo invada a faixa de sentido contrário, com o intuito de evitar as colisões frontais. Mais uma vez, a principal intenção desta aplicação não é reduzir a aceleração (ainda que proporcione a ilusão de estreitamento da pista, o que pode inibir aos motoristas), mas alertar os motoristas que cruzam a faixa conforme a figura. 2.5.

**Fig 2.5. Sonorizadores de centro em rodovias nos E.U.A.**



Fonte: Carlson & Miles (2003)

- **Transverse Rumble Strips:** São usados nas interseções ou cruzamentos entre rodovias, abordagens, praças de pedágio, zonas de trabalho, rampas e curvas radicais. Os avisos tátيل e sonoro emitidos pelos sonorizadores transversais ajuda os motoristas reconhecerem a necessidade de desacelerar e até mesmo parar o veículo por completo, dependendo da situação ver figuras. 2.6.

**Fig 2.6 - sonorizador transversal em rodovias nos E.U.A.**



Fonte: Carlson & Miles(2003).

Os sonorizadores transversais, por exemplo, são executados transversalmente sobre o pavimento da rodovia, ocupando toda a largura da faixa de rolamento. Eles são utilizados a fim de alertar os motoristas que estão se aproximando de um cruzamento ou em uma condição de perigo que requer uma redução de velocidade ou de atenção especial.

Os sonorizadores de acostamento são dispositivos constituídos por ranhuras instaladas ao longo do acostamento pavimentado. São muitos utilizados em rodovia com trechos prolongados de retas que causam monotonia e representam um risco para o condutor.

Os sonorizadores de centro são utilizados em rodovias onde não existe outro dispositivo de divisão de pistas, como barreiras de contenção. Eles servem como alerta aos motoristas que estão saindo da sua faixa de tráfego e invadindo a faixa de sentido oposto (Pereira, 2008).

Esses dispositivos são utilizados há décadas em muitos países, como os Estados Unidos, membros da União Européia, Austrália, Coréia do Sul e China. A intenção é advertir sobre direitos de acessos, identificação de zonas perigosas, como curvas nas quais ocorrem trocas de faixas. Os sonorizadores aumentam a sinalização e reduzem acidentes de trânsito, que envolvem principalmente pedestres, ciclistas e motociclistas. A instalação do mecanismo em rodovias deve seguir as recomendações e parâmetros da agência gestora do trânsito de cada país. Nos Estados Unidos da América, a implantação segue a legislação de trânsito de cada Estado. O

---

MUTCD é um manual de referência adotado pela FHWA. Ele deve ser consultado, adotado e complementado pelos Estados da federação o que dificulta a padronização destes sonorizadores.

Segundo a FHWA (2011), o manual de dispositivos de controle de tráfego uniforme, ou MUTCD, define os padrões utilizados pelos gestores de rodovias nacionais para instalação e manutenção de dispositivos de controle de tráfego em todas as vias públicas, como ruas, rodovias, ciclovias e rodovias privadas abertas ao tráfego público. O manual é publicado pela FHWA e reúne 23 códigos de regulamentações e vem sendo revisado desde 1971. Ele é uma compilação de normas nacionais para todos os dispositivos de controle de tráfego, incluindo a sinalização rodoviária e de trânsito. O documento é atualizado periodicamente para acomodar as necessidades de transporte da nação, com adoção de novas tecnologias de segurança, ferramentas de controle de tráfego e trânsito e técnicas de gestão.

Segundo a FHWA (2011), um estudo nacional que analisou a eficácia dos sonorizadores de centro em onze Estados com o objetivo de evitar colisões frontais, alcançou uma variação percentual de 18% a 64%. Em 14 Estados, os sonorizadores de borda possuem uma eficiência de 30% a 40% na redução de acidentes chamados de saída de pista.

O Federal Highway Administration (FHWA, 2008) disciplina quatro processos construtivos para sonorizadores sendo estes:

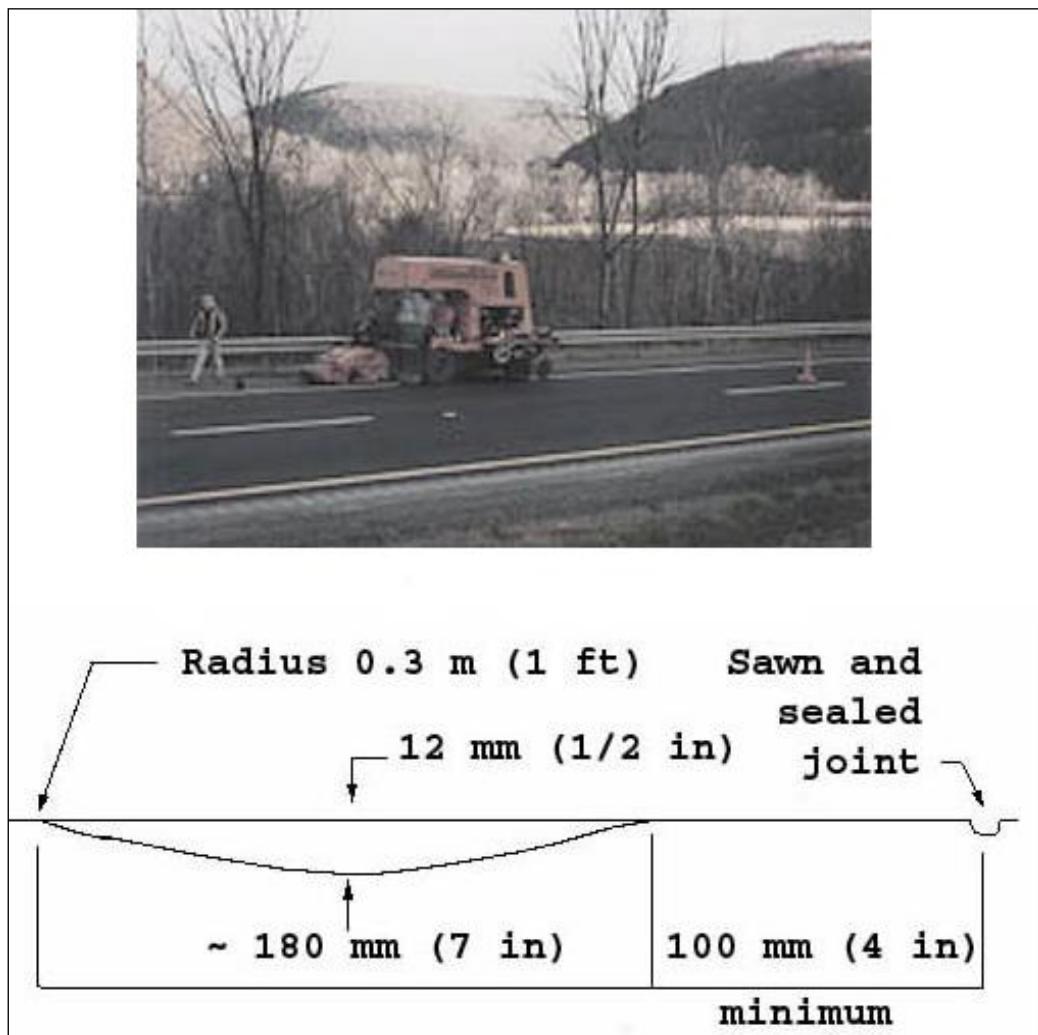
Ranhuras conformadas no local (*Milled*). São construídos a partir de uma máquina que possui equipamento com cabeçote rotativo que corta o pavimento criando sucos lisos, uniforme e consistente conforme figura 2.7.

Ranhuras cilíndricas (*Rolled*) são aplicadas em pavimentos asfálticos ainda quentes, ou em rodovias em recuperação de seus acostamentos. São bem menos empregadas do que as ranhuras conformadas e possui uma eficiência menor na emissão do sinal tátil e sonoro. Segundo Tedesco (2004) as dimensões são de 50 a 64 mm de largura e 25 mm de profundidade e de 450 a 900 mm de comprimento. A figura 2.8 representa o layout construtivo.

Ranhuras moldadas (*formed*) possuem procedimento construtivo idêntico ao das ranhuras cilíndricas diferenciando por possuir largura e profundidade mais acentuada o que favorece a emissão de um sinal tátil e sonoro mais forte.

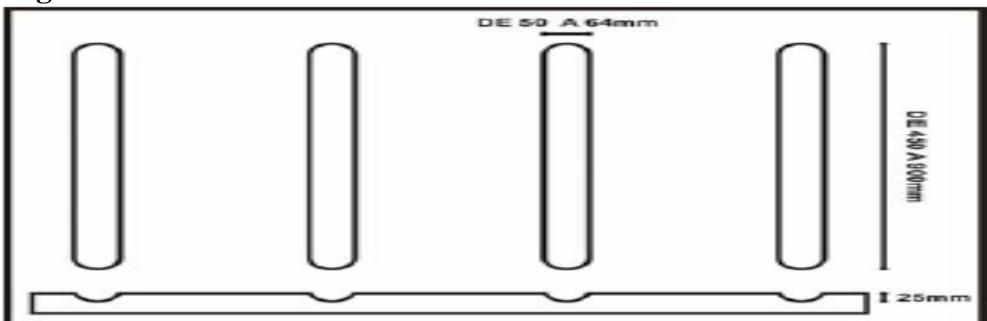
Ranhuras salientes (*raised*). Os métodos de construção são variados. Podem ser implantados em pavimentos novos ou existentes; com produtos diferentes que formam rugosidades, a exemplo de tachões, calotas e tiras aderentes.

Figura 2.7 Máquina construindo as ranhuras com as dimensões adotadas no Estado Nova York.



Fonte: FHWA (2011)

Fig. 2.8 Dimensões das ranhuras cilíndricas



Fonte: Tedesco (2004).

O tipo de sonorizador e o processo construtivo utilizados em sua execução interferem nos efeitos sonoros e vibratórios gerados no veículo e, consequentemente, no condutor. Dentre os processos descritos, as ranhuras conformadas no local produzem mais barulho e vibração

---

que os dispositivos dos tipos *rolled* ou *formed*. Segundo o Departamento de Transportes da Virgínia (FHWA, 2002), o processo com ranhuras conformadas no local gera 335% mais ruído e produz 1.260% mais vibração do que os com ranhuras cilíndricas, sendo mais eficazes para a advertência de grandes caminhões que saem da rodovia (Tedesco, 2004).

Para o Departamento de Administração dos Transportes de Maryland (SHA, 2005) a instalação de sonorizadores apresenta algumas vantagens e desvantagens. As vantagens da utilização desses dispositivos são a capacidade de atrair a atenção do motorista para outros dispositivos de advertência, reduzindo assim os riscos de acidentes no trânsito e de emissão de estímulos sonoros e vibratórios, aumentando a consciência dos motoristas e a atenção durante viagem longa, em estradas com grandes retas e em trechos com relativo fluxo de pedestres, animais ou obras na pista.

As principais desvantagens em sua utilização são os ruídos produzidos por sonorizadores próximos a zonas urbanas, o que pode provocar queixas dos moradores, particularmente, dos que estão instalados em um período de tempo prolongado; o desconforto gerado em motociclistas e ciclistas durante a viagem; a perda gradual da eficiência dos sonorizadores ao longo do tempo, comprometendo a capacidade dos sonorizadores em chamar a atenção do condutor.

Atualmente, o Departamento de Transportes do Estado de Washington (WSDOT, 2010) utiliza os seguintes tipos de sonorizadores: *roadway rumble strips* (sonorizadores de pista); *shoulder rumble strips* (sonorizadores de acostamento) e *centerline rumble strips* (sonorizadores de centro). A aplicação destes dispositivos varia conforme a localização na via e o tipo da rodovia.

Segundo Radalj & Kidd (2003) após estudos de avaliação da influência dos sonorizadores na percepção dos motoristas para redução da velocidade nas principais rodovias rurais da Austrália, foi concluído que sonorizadores individuais influenciam muito pouco na percepção dos motoristas para a redução da velocidade, enquanto que vários sonorizadores em sequência provocam uma maior reação, com maior variação da velocidade.

Um estudo realizado no Kansas por Meyer (2000) constatou que sonorizadores tipo *raised* oferecem aos motoristas uma sinalização visual importante, quando se aproximam de trecho de via em manutenção. O efeito audível também é um mecanismo de advertência importante para os automóveis. Ao passar sobre os sonorizadores, o motorista é alertado não apenas pela audição, mas também pela excitação tátil que é produzida pelo contato dos pneus

---

com o asfalto. A facilidade de instalação e remoção, combinada com o efeito positivo da sinalização, faz desse mecanismo um dispositivo de controle de tráfego muito atraente nessas circunstâncias.

Higgins e Barbel (1984), em pesquisa realizada em Illinois, investigaram a vibração e o ruído produzidos pelos sonorizadores de acostamento. Embora tenha sido determinado que o ruído exterior não variasse significativamente com os diferentes tipos e configurações dos sonorizadores, o dispositivo produz um ruído de baixa frequência que aumentou o nível de pressão sonora do entorno em sete decibéis, em relação aos níveis de ruído produzido pelo tráfego em rodovia sem sonorizadores.

Para o FHWA (2010), o ruído emitido por veículos de passeio é de 60dB(A). Ao transpor os sonorizadores, o incremento no ruído varia de 6 a 12 dB(A). Para um motorista sonolento, não se sabe ao certo que quantidade de decibéis que seria necessária para despertá-lo.

Fontaine e Carlson (2001), em estudo realizado no Texas, associaram o uso dos sonorizadores tipo raised com redução da velocidade dos veículos. Estes mecanismos causaram uma mínima redução na velocidade dos automóveis, mas produziram uma diminuição significativa na velocidade de caminhões. O tempo de instalação para os sonorizadores transversais padrões (em elevações) é demorado para recomendar a sua utilização durante a manutenção das vias na zona rural. Além disso, estes não são reutilizáveis, o que pode tornar estes dispositivos muito caros para serem aplicados em atividades de manutenção.

Hirasawa e Saito (2005) concluíram que quanto mais profundo for o sulco no pavimento, mais intenso é o ruído gerado pela passagem do veículo sobre os sonorizadores. Os testes foram realizados em diferentes velocidades na cidade de *Hokkaido* e verificou-se que o incremento é de 15 dB (A) no ruído gerado pela passagem do veículo sobre os sonorizadores, com relação à passagem do mesmo sobre o pavimento sem o dispositivo.

A eficiência dos sonorizadores na redução de acidentes é pesquisada no Brasil de forma incipiente. Já na França, Suécia e Estados Unidos, o assunto é alvo de muitos estudos. Isso levou órgãos de trânsitos destes países a realizarem projetos pilotos para verificar quais as melhores condições para a instalação dos equipamentos. Segundo a *Conference of European Director of Roads* (CEDR, 2010) como medida preventiva, alguns países, como a Suécia, têm estabelecido limites para a instalação dos sonorizadores próximos a áreas urbanas, o que não

---

deve ocorrer dentro de uma distância inferior a 100 metros e em áreas onde o limite máximo é de 70 dB (A)

No Reino Unido, a instalação deste dispositivo só é permitida na zona rural ou em parques. Por ser uma medida de prevenção de acidentes barata e eficaz, ainda de acordo com a CEDR (2010), sua instalação está sendo estendida a outros elementos constituintes da malha viária, como na entrada de túneis na Áustria e Itália.

Segundo a CEDR (2010), um relatório foi aprovado na conferência, em 2010, com a participações e contribuições dos seguintes países membros: Reino Unido, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Estônia, Finlândia, França, Alemanha, Grécia, Islândia, Irlanda, Itália, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Polônia, Portugal, Eslovênia, Suécia e Suíça. Estas nações responderam aos questionamentos encaminhados descritos abaixo quanto às políticas públicas de aplicação do *Centerline* e *Shoulder Rumble Strip*.

Os Estados membros foram convidados a responderem as seguintes perguntas:

*“O seu país tem alguma experiência com sonorizadores aplicados à prevenção de acidentes por sonolência ou desatenção dos motoristas? ”*

*“Qual é a principal fonte de informações sobre sonorizadores no contexto de seu impacto sobre a segurança rodoviária, a tecnologia, eficiência, custos, etc.? ”*

O trabalho resume as respostas recebidas dos Estados filiados ao CEDR. As manifestações são descritas a seguir:

**Austria** – “Sonorizadores são usados em conjunto com outros dispositivos de segurança rodoviária em túneis. Desde 2003, são utilizados na entrada para túneis e ao longo das rodovias, demarcando e determinando fluxo no seu interior. Os sonorizadores são geralmente feitos por ranhuras no asfalto ou pavimento de concreto. Há pouco tempo, foram aplicados em algumas rodovias rurais e em alguns trechos pré-selecionados, pois provaram ser muito eficientes na relação custo/benefício para reduzir o número de acidentes e serão utilizados nas mesmas ainda mais vezes no futuro.”;

**Estônia** – “Sonorizadores não são utilizados ao longo da rodovia, com exceção dos chamados “pentes de marcação” (um termoplástico de marcação na estrada). Mesmo com este tipo de marcação, os sonorizadores ainda não estão incluídos nas normas de trânsito da Estônia.”;

**Finlândia** – “Sonorizadores têm sido utilizados há vários anos, sendo equipamentos relativamente baratos e eficazes. No entanto, foi observado que em pavimentos抗igos, as ondulações contribuem para que este quebre mais rápido, reduzindo assim o tempo de vida dos pavimentos mais velhos.”;

**França** – “O guia “Rotas Equipements dès interurbaines”, Setra, 1998, afirma que as conduções nas auto-estradas podem fazer motoristas sonolentos terem a sua capacidade de atenção inibida; ruidosos os sonorizadores transversais podem acordá-los. Estes não possuem uso difundido na França, exceto quando, à noite, as marcas reflexivas se tornam visíveis na linha de borda da faixa do lado direito de algumas rodovias. Uma empresa de gestão de rodovias está atualmente testando os sonorizadores conformados no local ou fresados no pavimento. (milled rumble strip).”;

**Alemanha** – “Sonorizadores conformados no local ou fresados no pavimento (milled rumble strip) foram testados ao longo de uma seção de 36 km de uma rodovia durante um período de quatro anos. O estudo concluído é muito interessante e seus resultados são muito positivos. Os efeitos destes sob motociclistas atualmente vêm sendo investigados.”;

**Islândia** – “Sonorizadores foram testados no verão de 2007. No Outono de 2007, 70 km de sonorizadores foram aplicados em rodovias nacionais no sudoeste da Islândia. Não parece haver qualquer problema quanto à manutenção de inverno. Os efeitos sobre a segurança rodoviária ainda não foram estudados porque o período de teste foi curto demais até a emissão do relatório.”;

**Irlanda** – “Sonorizadores são aplicados ao longo de uma rodovia na borda ou ao centro para alertar condutores quando desvia de sua pista. Eles são usados e bastante comuns nas rodovias irlandesas nas vias duplas com duas ou mais faixas, bem como em manutenções em uma única faixa de rolamento da rodovia.”;

**Itália** – “Alguns trabalhos experimentais foram realizados com sonorizadores (em relevo) em túneis.”;

**Luxemburgo** – “Só informou que os sonorizadores são usados. Os efeitos são muito positivos.”;

**Os Países Baixos** – “Centerline e shoulder rumble strip não são geralmente aplicados nas auto-estradas, como consequência da legislação sobre o controle da poluição sonora na Holanda.”;

**Suécia** – “Um projeto piloto está em andamento para investigar se os sonorizadores têm um efeito positivo na segurança rodoviária e redução da velocidade. Até agora, eles parecem ter um impacto positivo na segurança rodoviária. O número de mortos e gravemente feridos foram reduzidos entre 10% e 15%. Os motociclistas estão satisfeitos com os sonorizadores e participam do grupo de trabalho com potencial capacidade de inferir e de influenciar no projeto.”;

“A Suécia tem uma estratégia de longo prazo para equipar os diferentes tipos de rodovias com sonorizadores. O objetivo com aplicação destes mecanismos no centro da rodovia é alerta aos motoristas e, assim, reduzir o número de acidentes. A Administração Rodoviária afirma que não é recomendável ter sonorizadores em rodovias que são mais estreitas do que 7,5m, devido ao desconforto criado para condutores de autos e veículos de cargas.”;

**Reino Unido** – “As marcações das bordas nas rodovias são descritas como “Linhas de borda de perfil saliente”. Consistem em uma linha contínua de marcação com reforços em toda a extensão com intervalos regulares. As bordas verticais das guias identificam-se sob o filme de água em condições molhadas, melhorando o desempenho retro-refletivo sob a iluminação do farol. Os reforços também emitem um aviso sonoro e vibratório para os condutores que se afastam da faixa de rolamento da pista. Estes dispositivos são comuns em autoestradas.”

No Brasil, estes dispositivos foram instituídos pela antiga Resolução 39/98 do CONTRAN, sendo alterados e substituídos pelo atual padrão construtivo estabelecido pela Resolução 567/80 do mesmo Conselho comentado anteriormente. Outros dispositivos físicos foram empregados durante algum tempo no lugar dos sonorizadores, mas o Conselho proibiu as suas utilizações, através da 335/09.

O padrão anterior, em que os sonorizadores eram colocados em sequência antes do obstáculo, pelo o aumento dos espaçamentos entre réguas, parece ser mais eficaz na função de alertar o condutor, mas possui a desvantagem de ocupar uma área maior, enquanto que o padrão atual possui dimensões fixas, o que uniformiza a excitação sonora e tátil.

---

O ruído causado pelos sonorizadores próximos a zonas urbanas constitui um dos grandes problemas quanto a sua localização, o motivo é que não existe ainda estudos que apresentem resultados sobre uma distância ideal que assegure à qualidade sonora das áreas em seu entorno. O uso dos sonorizadores em rodovias em área urbana é proibido pelo artigo 94 do Código de Trânsito Brasileiro (Lei 9.503/97). Eles só podem ser instalados em vias urbanas sem edificações lindeiras e em rodovias em caráter temporário, quando houver obra na pista.

A utilização dos equipamentos deve ser sempre acompanhada da sinalização vertical de regulamentação de velocidade. Entretanto, não fica definida a distância que tais edificações são consideradas lindeiras. Desta forma, a colocação dos sonorizadores muito próximos às residências pode gerar níveis de pressão sonora acima dos critérios estabelecidos pela Resolução 01/90 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Nestas condições, surge o conflito com a comunidade do entorno, devido à alteração da qualidade sonora do ambiente.

### 2.3 PROGRAMAS E PROJETOS EUROPEUS DE ATENUAÇÃO E REDUÇÃO DO RUÍDO DO TRÁFEGO

Segundo Specht (2009), as pesquisas têm possibilitado a redução em dB(A) do nível de ruído gerado pelo atrito no pavimento com a utilização de materiais com propriedades absorvedoras. Os países vêm buscando, cada vez mais, alternativas para reduzir o ruído causado pelo tráfego ou minimizar seus efeitos. Na Europa e nos Estados Unidos, tem sido uma rotina comum o emprego de barreiras anti-ruído. Elas são uma espécie de muros ou cortinas que atenuam a passagem do som.

Ainda segundo Specht (2009), na Europa, diversas iniciativas de cooperação têm sido estabelecidas para pesquisar sobre o tema e buscar alternativas para atenuação do ruído especificamente do tráfego rodoviário. Destacam-se os projetos SILVIA (*SILenda Via - Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise*) e FEHRL (*Forum of European National Highway Research Laboratories*) e SILENCE (*Silence projec*).

---

O projeto SILVIA visa fornecer aos gestores uma ferramenta que lhes permita planejar racionalmente as medidas de controle do tráfego de ruído. Para este fim, o projeto busca preencher três grandes lacunas do conhecimento técnico.

O principal produto final será um "Manual Europeu de Orientação para Utilização de pavimento em rodovias de baixo ruído", incluindo medidas de controle de ruído do veículo e a regulamentação de ruído dos pneus, gestão do tráfego e outras medidas de redução de ruído.

Formado em 1989, como o Fórum Europeu da National Highway Research Laboratories, o FEHRL é regido pela união de cada um dos institutos técnicos de pesquisa rodoviária dos países membros da União Europeia. Fornece uma estrutura de coordenação para os interesses de mais de trinta pesquisas científicas nacionais dos países membros de centros técnicos da Europa, juntamente com institutos de todo o mundo. Envolve os seguintes temas: Fornecer contribuições científicas para a Europa e a política do governo nacional em matéria de engenharia rodoviária e transporte rodoviário; Criar e manter uma rede rodoviária eficiente e segura na Europa; Aumentar a inovação nas indústrias de construção rodoviária europeias. A capacidade de pesquisa é fornecida pelos institutos de cada país que faz uso da grande variedade de instalações de teste disponível entre eles.

O projeto Silence (*Silence project*) foi executado durante 03 anos, e teve seus resultados publicados em dois seminários em 2007 e 2008. Após sua conclusão teve início o projeto *Qcity*, com estimativa de quatro anos para execução do mesmo e co-financiado pela Comissão Europeia. Desenvolveu-se uma infra-estrutura de tecnologia integrada para o controle eficiente do ruído ambiente rodoviário e ferroviário, considerando a atenuação da geração de ruídos na fonte, tanto de veículo como de infra-estrutura.

O *Qcity*, após o encerramento do SILENCE incentiva as atividades de apoio à política europeia de ruído para eliminar os efeitos prejudiciais da exposição ao mesmo. A redução dos níveis de ruído gerados pelos transportes, especialmente em áreas urbanas, decorrentes de soluções que garantam o cumprimento dos níveis critérios estabelecidos na legislação.

## 2.4 INDICADORES DE RUÍDO

### 2.4.1 Equação do decaimento Sonoro

---

Em caráter investigativo preliminar, considerando que a passagem de veículos individualmente em sonorizadores para emissões sonoras se comporta para a vizinhança como uma fonte pontual, pode-se determinar então, a partir dos valores medidos e registrados para uma distância de referência, o NPS - nível de pressão sonora do valor de pico para uma distância conhecida. Assim, pode-se estimar a distância dos sonorizadores para as edificações lindeiras mais próximas sem alterar a qualidade sonora do entorno usando a equação do decaimento sonoro definida por Mehta *et. al.* (1999). A partir das medições obtidas em simulações no campo de prova, obtem-se:

O nível de pressão sonora para uma fonte pontual a uma distância qualquer que pode ser calculado pela expressão:

$$NPS_1 = NPS_2 + 20 \times \log(r_2/r_1) \quad (1)$$

em que  $NPS_1$ : é o nível de pressão sonora a uma distância  $r_1$  [dB(A)];

$NPS_2$ : é o nível de pressão sonora a uma distância  $r_2$  [dB(A)];

$r_1$ : é a distância da fonte ao ponto de medição do  $NPS_1$  [m];

$r_2$ : é a distância da fonte ao ponto de medição do  $NPS_2$  [m].

Para uma rodovia com várias faixas de rolamento com sonorizadores o nível de pressão sonora em dB(A) a ser calculado envolve um fluxo de veículos alinhados por faixa com velocidades distintas e portes diferentes. O nível de pressão sonora para uma fonte linha a uma distância qualquer também definido em Mehta *et. al.* (1999). Pode ser calculado pela expressão:

$$NPS_1 = NPS_2 + 10 \times \log(r_2/r_1) \quad (2)$$

---

em que       $NPS_1$ : é o nível de pressão sonora a uma distância  $r_1$  [dB(A)];

$NPS_2$ : é o nível de pressão sonora a uma distância  $r_2$  [dB(A)];

$r_1$ : é a distância da fonte ao ponto de medição do  $NPS_1$  [m];

$r_2$ : é a distância da fonte ao ponto de medição do  $NPS_2$  [m].

#### 2.4.2 Cálculo do nível de pressão sonora equivalente - $L_{Aeq}$

O nível de pressão de pressão sonora em dB (A) denominado de nível de pressão sonora equivalente ponderado em A, obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora para um intervalo de tempo t. É calculado, usando a equação para cálculo do  $L_{Aeq}$  segundo o anexo da NBR 10151 (ABNT, 2000).

$$L_{Aeq} = 10 \times \log \left[ (1/n) \times \sum_{i=1}^n 10^{(L_i/10)} \right] \quad (3)$$

onde:  $L_i$  é o nível de pressão sonora, em dB (A), lida em resposta rápida (*fast*) a cada 5 s, durante o tempo de medição do ruído;

$n$  é o número total de leituras.

#### 2.4.3 Cálculo do nível de ruído ambiente (Lra.)

O nível de ruído ambiente (Lra): Corresponde ao nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A”, no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão.

#### 2.4.4 Níveis percentuais estatísticos ( $L_n$ , $L_{10}$ e $L_{90}$ )

Segundo Rodrigues (2006), para se obter o percentual de tempo em que um nível de ruído qualquer esteve acima de um nível de ruído de referência previamente definido, basta fazer um histograma cumulativo do ruído durante um determinado período de exposição. Assim, se define o “ $L_{10}$ ” como sendo o nível de pressão sonora presente em 10% das medições realizadas correspondendo aos

---

valores de pico no intervalo de medições. O  $L_{90}$  como sendo o nível de pressão sonora presente em 90% das medições realizadas correspondendo aos valores de ruído ambiente no intervalo de medições.

#### **2.4.5 Modelos específicos para cálculo do ruído de tráfego em rodovias.**

Pesquisadores em vários países têm desenvolvido modelos matemáticos capazes de predizer valores de níveis de pressão sonora a partir de variáveis como velocidade e fluxo de veículos, largura das faixas, composição de veículos, tipo de pavimento e percentual de veículos pesados, entre outras. Grande parte destes modelos tem aplicação em rodovias que, dependendo das zonas em que estão inseridas as velocidades alcançam valores significativos, principalmente quando se trata de rodovias fora dos trechos urbanos.

O crescimento do volume de tráfego de veículos em circulação nos grandes centros urbanos obriga autoridades, gestores e pesquisadores a voltarem sua atenção para os impactos ambientais decorrentes deste aspecto. Os indivíduos começam a perceber que o ambiente construído junto com todas as comodidades oferecidas traz consigo aspectos ambientais associados que potencializam o comprometimento da qualidade de vida. O crescimento da frota de veículos, associado à lentidão nos avanços das políticas públicas de transporte, expõe os indivíduos a condições de insegurança e exposições contínuas de poluição sonora proveniente do tráfego.

Para Brito (2009) e Steele (2001), os modelos de previsão de ruído para tráfego rodoviário, além de auxiliar no planejamento dos projetos de rodovias, contribuem também para atender as legislações ambientais que estabelecem níveis critérios em dB(A). Isso evita ou atenua os impactos ambientais decorrentes dos aspectos ambientais envolvidos nas atividades urbanas. A NBR 10151(2000) faz uma avaliação de ruído em áreas habitadas com a finalidade de gerar conforto à comunidade. Apesar de estabelecer níveis que asseguram o conforto da comunidade, em algumas situações, o atendimento a esses critérios é praticamente impossível. Por este motivo, os modelos de predição são importantes na fase de planejamento de uma rodovia porque permitem estimar os níveis de pressão sonora e algumas medidas mitigadoras, poupando a população de ser exposta.

---

Os modelos apresentados a seguir foram obtidos na literatura e foram utilizados para validar o modelo desenvolvido em laboratório para estimar e predizer o incremento do nível de ruído com a instalações de sonorizadores em vias urbanas a partir de um fluxo conhecido de veículos denominado de Ruído Imissivo em Vias Urbanas RIVU, sendo estes: Kinsler *et al.*(1982), HMSO, (1988), Celenk *et al.* (1997), Calixto *et al.*(2001), Pamanikabud *et al.*, (2002), Tansatcha *et al.* (2005).

Em comum, nestes modelos é o cálculo do Laeq em dB(A), como indicador do ruído representativo de um fluxo de veículos em rodovia relacionando diversas variáveis na sua formulação, tais como: velocidade, número de faixas, distâncias de referência, percentual de veículos pesados, composição de fluxo e a correção do nível de pressão sonora em função da distância.

O modelo apresentado em Kinsler *et al.* (2000), que foi desenvolvido nos Estados Unidos, considera a rodovia de pista dupla, trecho plano e comprimento infinito. Este foi concebido para avaliar o ruído produzido por veículos com velocidades igual ou superior a 80 km/h e distâncias menores, igual ou acima de 15 metros. Para distâncias menores do que 15 metros, não é necessária a sua correção. Através da Eq.(4) obtém-se o  $L_{Aeq}$ , nível de pressão sonora equivalente ponderada na curva “A”. A correção do nível de pressão sonoro é feita pela Equação 5. O resultado final é a soma entre as duas equações para os casos em que a distância do ponto de medição é igual ou superior a 15 metros.

$$L_{Aeq} = 39 + 10 \times \log(q) + 22 \times (v/88) \quad (4)$$

$$\Delta L = -\alpha \times [\log(d/d_0 + (d - 15/75)^2)] dB(A) \quad (5)$$

para  $d \geq 15$  metros.

$$\Delta L = 0, \text{ para } d < 15 \text{ metros.}$$

Em que:

$q$ : fluxo de veículos por hora (Veic/h);

$\Delta L$ : fator de correção do nível de pressão sonora [dB(A)];

$d_0$ : distância padrão (15 m);

---

*v*: velocidade (média) dos veículos (km/h);

*d*: distância do ponto de avaliação ao eixo da faixa (m);

*a*: parâmetro para propagação sonora em terreno plano = 13,3.

Calixto *et al.*,(2001) apresentou modelo, com foco na pesquisa do ruído de tráfego gerado nas rodovias federais BR-116 e BR-277, que são consideradas como os principais corredores de tráfego dentro do perímetro urbano de Curitiba. Foram selecionados diversos pontos nessas rodovias, nos quais 100 diferentes amostras foram medidas.

Para cada amostra, foram medidos simultaneamente:

- O tempo de duração de cada amostra, em segundos;
- A quantidade de automóveis, motocicletas, caminhões e ônibus que passavam pelo observador durante estes intervalos de tempo;
- Os níveis equivalentes e estatísticos do ruído em dB(A),  $L_{Aeq}$ ,  $L_{10}$  e  $L_{90}$ , emitidos pelo tráfego de veículos.

O modelo foi elaborado em rodovia, com revestimento asfáltico em bom estado de conservação; além do que a velocidade (média) era da ordem de 55 km/h, e os trechos com declividade inferior a 5%, em segmento retilíneo. O  $L_{Aeq}$  é representado pela Equação 6, o  $L_{10}$  e  $L_{90}$  são respectivamente representados pela Equação 7 e Equação 8.

$$L_{Aeq} = 7,7 \times \log[q \times (1 + 0,095 \times V_p)] + 43 \quad dB(A) \quad (6)$$

$$L_{10} = 6,2 \times \log[q \times (1 + 0,095 \times V_p)] + 52,2 \quad dB(A) \quad (7)$$

$$L_{90} = 10,2 \times \log[q \times (1 + 0,095 \times V_p)] + 27,1 \quad dB(A) \quad (8)$$

Em que:  $L_{Aeq}$  é o nível equivalente do ruído emitido pelo tráfego rodoviário, a 25 metros;

*q*: fluxo de veículos por hora (Veic/h);

---

$V_p$ : É o percentual de veículos pesados, em relação a quantidade total para um período de 01 hora (Veic/h).

O :Her Majestys Stationery Office - .HMSO publicou um modelo com procedimento de cálculo para previsão do ruído de tráfego em Londres em 1988 que inclui a possibilidade de alguns ajustes. Neste modelo, representado pela equação 9 onde são considerados: O  $L_{Aeq}$  em dB(A), o volume de tráfego  $q$ , velocidade de veículo  $v$ , e a quantidade de veículos pesados em % ( $V_p$ ). Este é válido no caso de a fonte estar a 0,5m do solo para vias de 7,0 m de largura no mínimo. O nível de pressão sonora foi obtido para uma distância de referência de 13,5 metros do meio fio

$$L_{Aeq} = 10 \times \log(q) + 33 \times \log(v + 40 + 500/v) + 10 \times \log(1 + 5 V_p/v) \quad (9)$$

– 29,6

Em que:

$q$ : fluxo de veículos por hora (Veic/h);

$v$ : velocidade (média) dos veículos (km/h);

Este modelo não leva em consideração o efeito da absorção realizada pelo solo. Segundo Melo *et al.* (2010) este modelo se aplica para um deslocamento da fonte a 0,5 m acima do nível do solo e calcula um Nível equivalente sonoro  $L_{Aeq}$  em dB(A) a 13,5 m de distância da fonte para o receptor, originado em uma avenida contendo faixas de rolamentos e uma largura máxima de 7 metros.

Afirma Nunes, Dornelles e Moraes (2000, p. 03). Que para distâncias superiores à referência de 13,5 metros, deve-se aplicar a equação do decaimento sonoro para fonte em linha.

Segundo o HMSO (1988), para distâncias inferiores a 13,5 metros entre a fonte e o receptor deve se aplicar o fator de correção de acordo com a equação 10.

$$\Delta L = -10 \log \left[ \sqrt{\left( \frac{(d + 3,5)^2 + h^2}{13,5} \right)} \right] \quad (10)$$

---

Onde:

$d$  = é a distância entre o ponto de recepção e a borda da faixa de rolamento mais próxima,

$h$  = é a altura entre o ponto de recepção em relação à altura da fonte sonora, o modelo considera que a mesma encontra-se a 0,5m do solo

O modelo de Celenk *et al.*, (1997) foi desenvolvido para calcular o ruído do tráfego rodoviário na cidade de Ankara. Considera o tipo de pavimento, um dado extremamente importante, pois o ruído é gerado pelo atrito entre o pneu e a pista de rolamento. A expressão usada é a Equação 11.

$$L_{Aeq} = 10 \times \log(q) + 20 \times \log(v) - 10 \times \log[d + w/3] + K_c + 14 \text{ dB} \quad (11)$$

(A)

Em que:

$q$ : fluxo de veículos por hora (Veic/h);

$v$ : velocidade (média) dos veículos (km/h);

$d$ : distância do ponto de avaliação ao eixo da via (m);

$w$ : largura da via (m);

$K_c$ : coeficiente que depende do tipo de revestimento (No caso, para o revestimento asfáltico, o valor de  $K_c$  é igual a 4).

O modelo proposto por Tansatcha *et al.* (2005) foi desenvolvido na Tailândia, tendo sido medido o nível equivalente de ruído  $L_{Aeq}$  em dB(A) para cada veículo individualmente num total de oito classes e calculado em função da velocidade média de cada veículo. Segundo

Melo *et al.* (2010) que empregou este modelo para avaliar o tráfego de veículos em algumas vias urbanas do município de João pessoa, afirma:

Para fazer as estimativas, inicialmente é calculado o nível de ruído para cada tipo de veículo, que é composto por oito classes: automóvel, caminhão leve, caminhão médio, caminhão pesado, caminhão com reboque, caminhão semi-reboque, ônibus e motocicleta. Para esse artigo, as equações (7 a 10) foram selecionadas. Para automóvel: a equação (7)  $L_{Aeq(10s)} = 4,568x\log(v) + 60,132$  em dB(A). Para motocicleta: a equação (8)  $L_{Aeq(10s)} = 7,113x\log(v) + 61,22$  em dB(A). Para ônibus: a equação (9)  $L_{Aeq(10s)} = 11,558x\log(v) + 52,128$  em dB(A). Para caminhão: a equação (10)  $L_{Aeq(10s)} = 6,003x\log(v) + 61,755$  em dB(A).

Verifica-se que quatro das oito categorias de veículos do modelo foram consideradas por Melo *et al.* (2010, p. 6). Assim, para o intervalo de tempo de 10 s e considerando os veículos de classe  $i$ , para o intervalo de tempo de 01 hora o nível equivalente sonoro  $L_{Aeq}$  em dB(A) é calculado pela equação 12.

$$L_{Aeq(1h)i} = L_{Aeq(10s)i} + \log \left[ D_0 / D \right]^{(1+\beta_{eff})} + 10 \times \log(q_i) - 25,563 \quad (12)$$

$$\beta_{eff} = \left( \frac{\%soft \times 0,5}{100} \right) \quad (13)$$

Em que:

$i$ : classe de veículos dividido em automóvel, motocicleta, ônibus, caminhão leve, caminhão medio, caminhão pesado, caminhão com reboque e caminhão com semi-reboque (1;8).

$q_i$ : fluxo da classe “ $i$ ” veículos por hora (Veic/h);

$D$ : Distância perpendicular, entre a fonte e o receptor, medida no local (m);

$D_0$ : distância de referência padrão (perpendicular) entre a fonte e o receptor- (15 m);

$\beta_{eff}$  : Coeficiente efetivo de absorção sonora para o tipo material do solo;

% soft: largura em seção do solo sem revestimento (%);

Também desenvolvido na Tailândia, o modelo de Pamanikabud *et al.* (2002) apresenta equações para sete categorias de veículos e velocidades que variam de 48 a 125 km/h e possui metodologia idêntica ao modelo de Tansatcha *et al.* (2005). Usando a Equação 14 para automóveis, Equação 15 para motocicletas, Equação 16 para caminhões médios e Equação 17 para ônibus. Assim, para as equações relacionadas, foi adotado o intervalo de tempo de 10 s para as medições do  $L_{Aeq}$  em dB(A) para cada veículo de classe i,

$$L_{Aeq(10s)i} = 63,07 + 0,07 \times (v) \quad (14)$$

$$L_{Aeq(10s)i} = 65,93 + 0,12 \times (v) \quad (15)$$

$$L_{Aeq(10s)i} = 72,57 + 0,01 \times (v) \quad (16)$$

$$L_{Aeq(10s)i} = 68,18 + 0,10 \times (v) \quad (17)$$

De acordo com o modelo para calcular o nível equivalente sonoro  $L_{Aeq}$  em dB(A) considerando o intervalo de tempo de 01 hora adota-se a equação 18.

$$L_{Aeq(1h)i} = L_{Aeq(10s)i} + 10 \times \log \left[ \frac{(q \times \pi \times d_0)}{(v \times t)} \right] + 10 \log \left( \frac{d_0}{d} \right) + 1,76 \quad (18)$$

Em que:

$q$ : fluxo de veículos por hora (Veic/h);

$v$ : velocidade (média) dos veículos (km/h).

$d_0$ : distância padrão (15 m);

$t$ : tempo de medição (s).

Nas equações de previsão de ruído que são pré-fixadas, as distâncias entre o medidor de nível de pressão sonora e a fonte sonora, para o cálculo do nível de emissão sonora e pressão sonora deve ser corrigido pela equação 2.

A comparação dos resultados obtidos através dos modelos adotados com o modelo de predição RIVU desenvolvido a partir dos dados obtidos no campo de prova como forma de validação do mesmo.

---

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O Estado da Paraíba está localizado na porção oriental da região Nordeste do Brasil, apresenta como limites territoriais: ao norte, o Rio Grande do Norte; ao sul o Estado de Pernambuco; ao leste o Oceano Atlântico; e a oeste os Estados do Ceará e Pernambuco.

A área objeto de estudo para a locação do campo de prova está inserida na capital do estado da Paraíba no município de João Pessoa na Cidade Universitária no início da zona Sul, por traz da reitoria da Universidade Federal da Paraíba. UFPB. Inclusa na Mesorregião da Mata Paraibana e na Microrregião de João Pessoa. Limitando-se ao Norte com o bairro do Castelo Branco, ao Sul, leste e Oeste com o bairro dos bancários e a BR 230,

O método utilizado neste estudo foi composto por várias etapas sucessivas para o desenvolvimento e obtenção de um modelo de predição capaz de mensurar o incremento ao ruído emitido por um fluxo de composição qualquer de veículos em vias inseridas no perímetro urbano, com as instalações de sonorizadores, adotando-se como base de dados de referências os valores medido dos níveis de pressão sonora em dBA) para um intervalo de tempo equivalente ao período em que o veículo que passa fora e sobre os sonorizadores alterando o ruído ambiente medido em um campo de prova, para cada classe de veículos (i).

A partir dos dados obtidos e registrados pela passagem dos veículos fora dos sonorizadores, aplicando-os no modelo desenvolvido e adotando algumas variáveis obtidas nos estudos de caso e disponível na literatura, compara-se com os valores calculados através da aplicação destes dados em vários modelos existentes e selecionados como forma de validar o novo modelo. Obtida a validação, aplica-se os dados obtidos com a passagem dos veículos classe i sobre os sonorizadores para velocidades, Nível de intensidade sonoro ( $L_{Aeq(5s)}$ ) em dB(A), ruído ambiente( $L_{Ra(5s)}$ ) em dB(A) e fluxo conhecidos, obtendo-se o incremento ao ruído em dB(A) que os sonorizadores proporcionam para o ambiente circunvizinho na via. As etapas de desenvolvimento do modelo são descritas a seguir :

- i. A concepção e instalação de um campo de prova contendo sonorizadores padrão brasileiro, foi locado no estacionamento da Reitoria no interior da UFPB, por ser o local que melhor se enquadrou as normas técnicas para realização dos ensaios

- e ofereceu uma melhor condição de segurança aos pesquisadores e aos equipamentos;
- ii. Escolha da área do campo de prova contendo uma via pavimentada com duas faixas de rolamentos com extensão suficiente para desenvolver as velocidades de 40 km/h, 50 km/h e 60 km/h típicas das vias urbanas. Em uma das faixas foram instalados os sonorizadores padrão Brasileiro;
  - iii. Foram classificados os veículos em 03 (três) classes que se fazem presentes no tráfego urbano: Classe 01- Veículos leves (Carros de Passeio), Classe 02 – Veículos pesados (Ônibus e Caminhões) e Classe 03 – Motocicletas(veículos pequenos);
  - iv. Adotou-se um Soft estatístico e aplicou-se modelos contendo testes para determinação da normalidade e do tamanho das amostras para a coleta de dados, todos disponíveis na literatura para os eventos de interceptação dos sonorizadores por veículos de classe i e as suas respectivas medições em dB(A);
  - v. Medição e registro do  $L_{Aeq}$  em dB (A) com a definição do intervalo de tempo necessário equivalente ao período em que o veículo que passa fora dos sonorizadores alterando o ruído ambiente até o seu restabelecimento em dB(A) no campo de prova para o registro pelo Medidor de nível sonoro do nível de intensidade sonoro( $L_{Aeq(5s)}$ ), durante o deslocamento e passagem fora dos sonorizadores com velocidades conhecidas pelo veículo de classe (i);
  - vi. Calculo do nível equivalente sonoro em dB (A), para cada veículo classe i com velocidades de 40, 50 e 60 km/h desenvolvidas no campo de prova sem interceptação dos sonorizadores;
  - vii. Escolha e definição de 03 vias urbanas no município de João Pessoa com mais de uma faixa de rolamento consideradas como corredores de tráfego que devido a intensidade do fluxo não permitem que sejam desenvolvidas pelos veículos velocidades acima de 60 km/h o que possibilita a identificação da composição do fluxo, velocidade média, nível de intensidade sonoro ( $L_{Aeq}$ ) em dB (A) ;
  - viii. Calculo do nível de intensidade sonoro ( $L_{Aeq(1h)}$ ) em dB(A) usando os nível de intensidade sonoro( $L_{Aeq(5s)}$ ) em dB(A) na composição do fluxo de veículos identificada para cada via urbana a partir dos valores registrados pela passagem individual de cada veículo da classe i fora dos sonorizadores no campo de prova.

---

Caso o fluxo de veículos seja menor do que 720 veículos por hora, complementa-se o fluxo com o ruído ambiente em dB(A) ;

- ix. Foram selecionados vários modelos de predição de ruído veicular para rodovias disponíveis na literatura, com vistas a validar o modelo desenvolvido neste estudo aplicando para o fluxo identificado em cada via urbana a partir dos estudos de caso, usando os resultados obtidos para comparar com o resultado encontrado com o modelo desenvolvido utilizando as medições registradas no campo de prova pela passagem individual de cada veículo classe i com velocidade constante e controlada;
- x. Medição do  $L_{Aeq}$  em dB (A) com a definição do intervalo de tempo necessário equivalente ao período em que o veículo que passa sobre os sonorizadores alterando o ruído ambiente até o seu restabelecimento em dB(A) no campo de prova para o registro pelo Medidor de nível sonoro do nível de intensidade sonoro( $L_{Aeq(5s)}$ ), durante a interceptação e passagem sobre os sonorizadores com velocidades conhecidas pelo veículo de classe (i);
- xi. Calculo do nível de intensidade sonoro ( $L_{Aeq(1h)}$ ) em dB(A) usando os nível de intensidade sonoro( $L_{Aeq(5s)}$ ) em dB(A) na composição do fluxo de veículos identificada para cada via urbana a partir dos estudos de caso e valores registrados pela passagem individual de cada veículo da classe i sobre os sonorizadores no campo de prova. Caso o fluxo de veículos seja menor do que 720 veículos por hora, complementa-se o fluxo com o ruído ambiente em dB(A). Calculando-se por fim o incremento no nível de ruído veicular na via.

Cálculo da distância em que os sonorizadores deverão ser instalados para a edificação lindeira mais próxima nas rodovias ou vias inseridas no perímetro urbano sem alterar a qualidade sonora do ambiente de acordo com a resolução CONAMA 01/90;

---

### 3.1 CONCEPÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DOS SONORIZADORES NO CAMPO DE PROVA.

Para realização da avaliação do ruído veicular sobre sonorizadores, um campo de prova foi concebido e instalado como forma de assegurar as condições técnicas necessárias para realização dos ensaios, tendo sido considerado também a segurança dos pesquisadores contra possíveis acidentes e a utilização dos medidores de pressão sonora atendendo as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15145(2004).

O estudo foi realizado no Campus I da Universidade Federal da Paraíba, em João Pessoa, onde foram instalados os sonorizadores em uma das duas faixas de rolamento na via perimetral leste no interior do estacionamento, entre a Reitoria e a Prefeitura Universitária. Este campo de prova foi selecionado, tendo em vista as dificuldades de mensuração dos níveis de pressão sonora dos sonorizadores em vias públicas, em virtude da falta de condições técnicas necessárias à investigação com testes controlados de passagem de veículos.

Na prática, o afastamento das condições consideradas ideais resulta de quatro causas principais: absorção do som pela superfície do terreno; reflexões devidas a objetos, tais como edifícios e árvores ou pessoas; topografia do terreno e ação do vento.

A área de estudo escolhida para a concepção de um campo de prova, destinado às medições de níveis de pressão sonora, reuniu os seguintes requisitos:

- O local para realização da avaliação do ruído veicular sobre e fora dos sonorizadores foi um ambiente constituído por uma área desimpedida, em um raio de aproximadamente 50 metros e cuja a área central, com raio de 20 metros, seja de concreto, asfalto ou outro material duro equivalente;
- A fim de reduzir o efeito das reflexões sonoras, é igualmente recomendado que no local onde se encontre o veículo testado que não haja nenhum obstáculo importante numa distância de 25m do veículo. As concentrações sonoras e os terrenos situados entre muros paralelos devem ser evitados;

- 
- Na medida do possível, o nível de ruídos do ambiente (incluindo o ruído do vento) deve indicar, no registro do aparelho, pelo menos, 10 dB (A) abaixo daquele produzido pelo veículo experimentado. Caso contrário, os ruídos registrados no experimento devem ser expressos sem a contribuição do ruído ambiente;
  - É preciso estar atento para que os resultados das medições não sejam falseados por rajadas de vento. Também é preciso levar em conta o fato de que a presença de espectadores pode influir sensivelmente nos registros se permanecerem nas proximidades do veículo ou do equipamento de medição. Portanto, ninguém, a não ser o observador encarregado da leitura do aparelho, deverá permanecer nas proximidades do veículo ou do microfone.

Segundo a ABNT: NBR 5145/2004, o ambiente com estes requisitos reúne, satisfatoriamente, as condições necessárias para realização dos ensaios, compreendendo as medições de ruídos e de segurança dos pesquisadores, veículos e demais equipamentos utilizados.

No interior do campus da UFPB, inicialmente, foram inspecionadas várias vias contendo trechos longos pavimentados. Mas a maioria delas estava com margens ocupadas pela vegetação, o que iria comprometer as medições de ruído para pequenas e médias distâncias. No entanto, foi encontrada uma via para a montagem do campo de prova que reunia condições próximas das estabelecidas pela norma citada. O campo de prova está localizado no estacionamento do prédio da reitoria da UFPB. A via escolhida é pavimentada, com 180 m de comprimento e 6 m de largura. Trata-se da perimetral oeste do estacionamento da reitoria. Observa-se que as primeiras edificações se localizam a distância aproximada de 50 metros do campo de prova. Nas imediações também existiam algumas árvores de pequeno porte, o que pouco interferiu nos resultados. O campo de prova pode ser visualizado nas Figuras 3.1, 3.2 e 3.3.

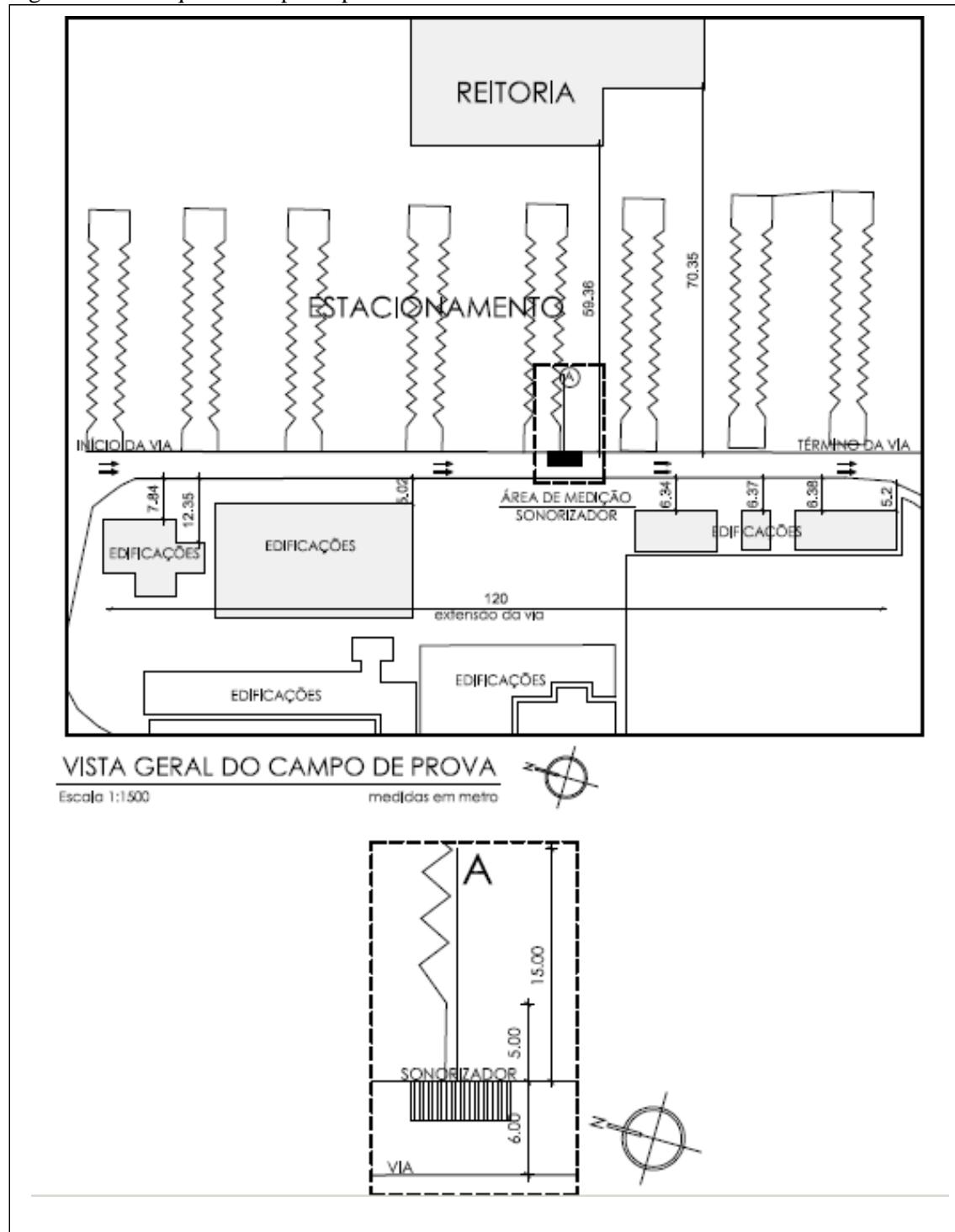
**Figura 3.1** – Medições do ruído gerado pela passagem de veículos no Campo de prova.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Atendidas as condições técnicas previstas na ABNT NBR 5145/2004 para os ensaios no campo de prova, foi então selecionado e construído os sonorizadores padrão brasileiro de acordo com as dimensões especificadas na Resolução 39/98 do CONTRAN. O equipamento possui largura com apenas 2,5 metros. Isto corresponde à metade da largura da via existente no local, descontado 1,0 (um) metro referente à largura das linhas de drenagem de água pluvial. Esta largura foi definida para que os veículos pudessem circular na outra faixa da via sem interceptar os sonorizadores, de modo a realizar comparação sobre o acréscimo do nível de pressão sonora ao trafegar sobre o mesmo. Neste campo de prova, foram realizados ensaios com diferentes veículos: motocicletas, automóveis de até uma tonelada e veículos a diesel com peso acima de uma tonelada.

Figura 3.2 – Croqui do campo de prova.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para construir os sonorizadores, foi montada uma forma de madeira constituída de pregos, ripas e caibros. As dimensões foram adotadas de acordo com os preceitos do anexo II da Resolução 39/98 do CONTRAN. Os caibros possuem seção retangular com 80 mm de altura por 25 mm de largura e comprimento de 2,5 metros. Adotando-se os espaçamentos de 80 mm

---

entre um caibro e outro, foi montada a forma para preenchimento com concreto, obtido a partir da seguinte composição de materiais, para traço utilizando uma lata de 20 litros: 03 latas de areia, 02 latas de brita tipo cascalhinho, 1,5 latas de cimento e 1,5 latas de água.

Para melhorar a aderência do concreto ao pavimento foi aplicado asfalto frio na base. A retirada da forma ocorreu 07 dias após a sua confecção.

### **3.1.1 Equipamentos e condições dos ensaios**

Para realização dos testes, foram utilizados os seguintes equipamentos: medidores de nível de pressão sonora, um classe 1 modelo 01dB SIP95S figura 3.4 e dois classe 2 modelo Minipa MSL-1352; 01 medidor de velocidade do vento, temperatura e de umidade relativa do ar; 08 veículos automotores; duas câmaras fotográficas; uma filmadora; dez cones de sinalização para isolamento da área e dois rádios portáteis para comunicação.

Os medidores de nível de pressão sonora classe 2 foram utilizados simultaneamente para medir valores de pico (Lpmax). Estes medidores possuem as seguintes características:

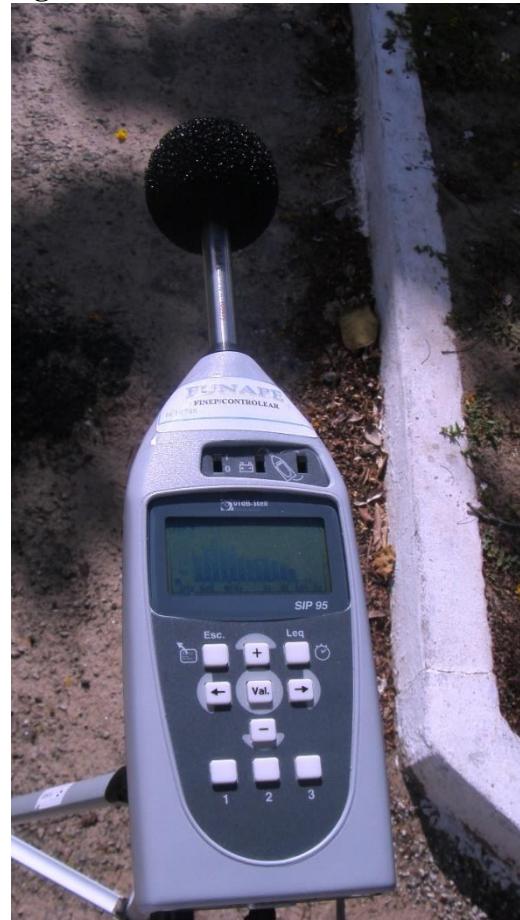
- Faixa de medida que vai de 32dB até 130dB, faixa de frequência entre 31,5Hz e 8KHz, com altura do microfone de 1,2 dB. Em conformidade com a NBR 10151 (2000), o equipamento foi utilizado na faixa de 32 a 80dB, na curva de compensação A, no modo FAST, microfone com altura de 1,2 metros do solo. O medidor de nível de pressão sonora modelo SIP95S da marca 01 dB-Stell classe 01 foi usado para medir o nível equivalente contínuo Laeq e o espectro sonoro.
- O equipamento possui faixa de medida que vai de 30 dB até 140 dB, e filtro que permite medições do espectro de frequência em oitava com opções para 1/3 de oitavas foi adotado um tempo de aquisição de 5s para a medição do Laeq, Em conformidade com a IEC 61672 (2003), foi utilizado na curva de compensação A, no modo FAST e omltura de 1,2 metros do solo, conforme ilustrado nas Figuras 3.3 e 3.4.

- **figura 3.3 – Medição do ruído gerado pela passagem do veículo sobre os sonorizadores**



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 3.4 - MNPS classe 01.**



Fonte: Elaborado pelo autor.

---

Os ensaios foram realizados com três categorias de veículos: duas motocicletas, sendo uma do modelo Dafra 150 CC ano 2010 e a outra Shineray 50 CC ano de fabricação 2009 classificadas como veículos pequenos; três veículos com peso bruto de até uma tonelada, sendo estes: Volkswagen GOL, ano 2008; Fiat Palio, ano 2003; Ford Versailles, ano 1993; três veículos a diesel com peso bruto acima de 1 tonelada, sendo estes: caminhonete D10 Chevrolet, ano 1982; caminhão Mercedes 709 ano de fabricação 1990, e micro-ônibus Comil, com capacidade para 19 passageiros e ano de fabricação 2002.

Os veículos classificados em pequenos, leves e pesados foram ensaiados individualmente um a um com o seguinte procedimento: Ao se aproximar dos sonorizadores com velocidade constante pré-definida e ao interceptá-los com o motor engrenado, registrava-se os níveis de pressão sonoro para desacelerar rapidamente após a interceptação e realizar a frenagem. Este procedimento permitiu determinar o intervalo de tempo em que o ruído ambiente medido em dB(A) era alterado pela aproximação do veículo e se restabelecia após a passagem do veículo. O procedimento se repetiu para as passagens dos veículos na faixa de rolamento fora dos sonorizadores, ajustando-se às distâncias dos medidores de nível de pressão sonora para o eixo de centro da mesma.

Nos dias de ensaios e medições, o isolamento da área era realizado, com a colocação de cones necessários para impedir o fluxo de veículos em alguns trechos próximos ao campo de prova, além da verificação das condições da velocidade do vento, temperatura e umidade.

Os ensaios foram realizados com a passagem dos veículos sobre e fora dos sonorizadores, com velocidades compatíveis com as desenvolvidas no tráfego de veículos nas vias urbanas, que variam entre as categorias de veículos, com valores que oscilam entre 40 e 60 km/h. Outro fator que contribuiu diretamente para a adoção das velocidades de 40, 50 e 60 km/h foi a pequena extensão da via selecionada, o que impediu que as motocicletas e alguns veículos a diesel desenvolvessem a velocidade de 60 km/h:

As velocidades foram definidas em função da categoria dos veículos, sendo estas: para motocicletas (veículos pequenos), velocidades de 40, 50 e 55 km/h; veículos leves velocidades de 40, 50 e 60 km/h e os veículos a diesel com velocidades de 40 e 50 km/h. Foram registrados os níveis de pressão sonora em valores de pico a distâncias de 5 e 15 metros do eixo da faixa dos sonorizadores e ajustado as distâncias dos medidores de nível sonoro para o eixo da faixa de rolamento sem os sonorizadores. Também foram medidos, nas mesmas condições a 5 metros

---

de distância, o respectivo espectro sonoro produzido por cada veículo durante a passagem do mesmo sobre os sonorizadores juntamente com o nível de pressão sonora equivalente  $L_{Aeq}$ .

Ainda durante os ensaios, foram verificadas as condições climáticas, como umidade relativa do ar, que variava de 65% a 80%; a temperatura ambiente que registrava de 25,3 °C a 28,5 °C e o vento, que alcançava velocidade entre 1 e 1,5 m/s. além disso, no período de medições, foi verificado o ruído ambiente, que oscilou entre 46 dB (A) a 53 dB (A).

### **3.1.2 Tamanho da Amostra**

Inicialmente, as medições do nível de pressão sonora para valor de pico e equivalente em dB (A) referente ao número de passagem dos veículos sobre e fora dos sonorizadores se limitaram a dez. Com estes resultados, verificou-se que as distribuições das amostras obtidas são normais. Para realizar o teste estatístico de normalidade, foi utilizado um *software* livre denominado de BIOESTAT 5.0, desenvolvido por Aires & Santos (2007).

O teste de normalidade aplicado foi o não-paramétrico de *Kolmogorov-Smimov* (K-S) para normalidade. O teste K-S normal faz a seguinte pergunta: qual é a probabilidade de que a diferença entre a distribuição de uma amostra obtida no campo de prova e uma distribuição normal ocorra por puro acaso? Ou seja, será que a diferença entre a distribuição de uma amostra obtida no campo de prova e uma distribuição normal é estatisticamente significante?

Quando se aplica o teste K-S normal, deseja-se que o valor testado de uma amostra “p” seja maior que o valor crítico, que geralmente é de 0,05. A probabilidade de que uma amostra obtida no campo de prova seja diferente de uma curva normal, por acaso, deve ser menor que 5%. Ao testar hipóteses, procura-se uma diferença real entre os dois grupos de dados.

No teste K-S, espera-se que os dados obtidos no campo de prova não sejam diferentes dos dados coletados em uma população com distribuição normal. Ao aplicar o teste K-S normal para as amostras obtidas no campo de prova, verificou-se que a probabilidade “p” é maior que

---

0,05. Deduzindo-se que a diferença entre as distribuições das amostras e a distribuição normal não é significativa, logo se pode afirmar que há segurança em aplicar os testes K-S nas amostras obtidas no campo de prova. O tamanho da amostra foi então calculado através do teste t de *Student* para pequenas amostras (Triola, 2005), tendo sido obtido o número de cinco amostras, ou seja, cada veículo de classe i passou 05 (cinco) vezes sobre e fora dos sonorizadores para cada faixa de velocidade definida previamente e para cada passagem individual registrou-se o  $L_{Aeq}$  em dB(A)

### 3.2. DIRETRIZES E CONDIÇÕES PARA ELABORAÇÃO DE MODELO DE PREDIÇÃO DE RUÍDO

Tendo em vista a necessidade de avaliar alteração da qualidade sonora de uma via urbana com a instalação de sonorizadores, idealizou-se o desenvolvimento de um modelo para estimativa do ruído do tráfego considerando os níveis de pressão sonora em dB(A) emitidos pela passagem individual de cada veículo classe i para o período de 5 segundos com velocidades conhecidas fora dos sonorizadores e realizar a composição do fluxo para o intervalo de tempo de 01 hora. Com o objetivo de comparação e validação dos resultados obtidos identificou-se ainda, modelos disponíveis na literatura de predição de níveis de pressão sonora, com objetivo de avaliar a viabilidade e eficiência do modelo desenvolvido. Por fim, adotou-se as condições existentes, identificadas em 3 vias urbanas no município de João Pessoa, para calcular o incremento no ruído gerado pelo fluxo de veículos com a instalação de sonorizadores na via.

Com o objetivo de comparar com o nível sonoro gerado por um fluxo de veículo, com velocidade distinta em 3 avenidas em área urbana do município de João Pessoa, no Estado da Paraíba, foi calculado o nível de pressão sonora equivalente médio representativo de cada categoria de veículo i ensaiada no campo de prova a partir da passagem sobre os sonorizadores, aplicando no modelo proposto e calculando o incremento no nível de pressão sonoro em dB(A).

---

O modelo proposto neste trabalho utilizou dados obtidos a partir da passagem das 3 categorias de veículos com diferentes velocidades sobre e fora dos sonorizadores. Inicialmente, algumas considerações foram adotadas para nortear a formulação do modelo, sendo estas:

1. O modelo matemático adotado para o cálculo do Laeq constante do anexo da NBR 10151 (2000) e representado neste estudo pela equação 3;
2. O ruído ambiente integra a composição do modelo, pois no ambiente urbano tende a assumir valores elevados;
3. Os níveis de pressão sonora equivalentes por categoria de veículos das passagens individuais fora dos sonorizadores, de cada veículo, medidos no campo de prova, foram considerados para efeito de cálculo na obtenção do ruído de tráfego;
4. Para o tempo de aquisição de 5 segundos, equivalente ao período em que o veículo se aproxima, intercepta e se afasta dos sonorizadores foi programado no medidor de nível de pressão sonora onde se obteve a composição do fluxo máximo de veículos por faixa para o período de 1 hora, totalizando 720 veículos.
5. A distância de referência utilizada no campo de prova para o cálculo do nível de pressão sonora equivalente foi de 5 (cinco) e 15 metros para interceptação dos sonorizadores e ajustada para as mesmas distâncias para a passagem dos veículos fora dos sonorizadores;

O modelo proposto neste estudo foi elaborado a partir da equação 3. Inicialmente, para calcular o Laeq, aplicou-se a função logarítmica a cada nível equivalente sonoro por categoria de veículo  $i$ , e depois realizou-se o somatório dos níveis de pressão calculado para um período de 01 hora com um fluxo total de até 720 veículos. Dessa forma, aplica-se a equação 2 para correção do Laeq, levando-se em consideração as distâncias das faixas em cada avenida.

---

### 3.3 ESCOLHAS DAS VIAS URBANAS – ESTUDO DE CASO

Em seguida o modelo foi calibrado com dados obtidos em 3 vias situadas em área urbana do município de João Pessoa – PB. A partir dos dados apresentados por Melo *et al.*, (2010) contemplando variáveis, tais como: número de faixas, velocidade média por faixa, tipo de pavimento, nível de ruído ambiente, composição de fluxo e nível de pressão sonora equivalente para o período de 1 hora. As vias selecionadas são importantes corredores arteriais de tráfego de veículos, sendo estas: Av. Ministro José Américo de Almeida, Av. Presidente Epitácio Pessoa e Av. Senador Rui Carneiro.

### 3.4 SELEÇÕES DOS MODELOS DE PREDIÇÃO DE RUÍDO VEICULAR DISPONÍVEIS NA LITERATURA

Os modelos considerados neste estudo e disponíveis na literatura possuem a especificidade de calcular o nível de pressão sonora equivalente Laeq na escala de ponderação A. Os mesmos possuem algumas características em comum, tais como: velocidade média por faixa, composição total de fluxos por faixas, tipo de pavimento, número e largura das faixas, distâncias de referências, correção do nível de pressão sonora equivalente em dB (A) para a distância da faixa de rolamento aplicando a equação do decaimento para fonte em linha. Os modelos que serviram de base para validação do Ruído Imissivo em Vias Urbanas RIVU foram os seguintes: Kinsler *et al.* (1982), HMSO, (1988), Celenk *et al.* (1997), Calixto *et al.* (2001), Pamanikabud *et al.*, (2002), Tansatcha *et al.* (2005).

### 3.5 DETERMINAÇÃO DO INCREMENTO NO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE EM DB(A) DEVIDO AOS SONORIZADORES.

O cálculo do incremento no nível de pressão sonora equivalente em dB(A) proveniente das mesmas condições de tráfego nas três avenidas selecionadas, caso ocorra a instalação em qualquer uma dessas vias estudadas de sonorizadores nos padrões de construção estabelecidos no anexo II, da Resolução 39/98 do Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN. Foi obtido aplicando as Equações de 2 e 3 para os valores da tabela 11, referente aos níveis de pressão sonora equivalentes para cada categoria de veículos pela passagem individual sobre os sonorizadores no campo de prova e aplicando as condições de tráfegos das três avenidas adotadas para o período de 01 hora, como se os sonorizadores padrão brasileiro fossem instalados em todas as suas faixas. Assim foi possível determinar o incremento do nível de pressão sonora em dB(A).

### 3.6 DETERMINAÇÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS SONORIZADORES E AS EDIFICAÇÕES LINDEIRAS

Calculou-se as distâncias que os sonorizadores devem ser instalados para as edificações consideradas lindeiras na via, sem alterar a qualidade sonora do ambiente, a partir dos valores de picos médios representativos de cada categoria de veículos obtidos nos ensaios sobre os sonorizadores no campo de prova. Utilizou-se a Equação 1 para fonte pontual com a finalidade de obter as distâncias limites do sonorizadores para edificações lindeiras na rodovia inserida na zona urbana em função dos níveis critérios de avaliação para ambientes externos constantes da Tabela 01 da NBR 10 151/2000 apresentados na Tabela 2.1.

Assim, a distância  $r$  procurada, agora denominada de  $r_2$  será de:

$$r_2 = r_1 \times 10^{\left( \frac{(NPS_2 - NPS_1)}{20} \right)} \text{ m} \quad (19)$$

em que:

$r_2$  : é a distância critério procurada para uma fonte pontual [m];

$r_1$ : é a distância de 15 metros, no campo de prova, onde foram registrados os valores de pico  $L_p$  Max(m);

$NPS_1$ :é o nível de pressão sonora ( $L_p$  max) registrado a uma distância de 15 metros da passagem do veículo sobre e fora do sonorizador [dB(A)];

---

NPS<sub>2</sub>: é o nível de pressão sonora registrado equivalente a um nível critério adotado diferente de NPS<sub>1</sub> resultante da passagem do veículo sobre e fora do sonorizador [dB(A)];

Assim, a Equação (19), para o cálculo da distância critério é:

$$r_2 = 15 \times 10^{\left( \frac{(L_{P\max} - NCA)}{20} \right)} \text{ m} \quad (20)$$

r<sub>2</sub>: é a distância critério procurada para uma fonte pontual [m];

r<sub>1</sub>: é a distância de 15 metros no campo de prova onde foram registrados os valores de pico, L<sub>P</sub> max[m];

L<sub>Pmax</sub> : é o nível de pressão sonora registrado a uma distância de 15 metros da passagem do veículo sobre e fora dos sonorizadores de acordo com a tabela 4.1 [dB(A)];

NCA :é o nível critério de avaliação constante da Tabela 1 da NBR 10151/2000 [dB(A)].

Após aplicação da Equação 20, considerando o horário noturno por ser um parâmetro de emissão mais restritivo e os níveis de pressão sonora em valor de pico L<sub>P</sub> max sobre os sonorizadores, foram obtidas as distâncias critério r<sub>2</sub> [m] do mesmo para edificações lindeiras para as três categorias de veículos ensaiados com diferentes velocidades.

---

## 4. DISCUSSÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS

4.1. REGISTROS DE DADOS A PARTIR DOS ENSAIOS REALIZADOS NO CAMPO DE PROVA COM A PASSAGEM INDIVIDUAL DOS VEÍCULOS DE CLASSE I, FORA E SOBRE OS SONORIZADORES PADRÃO BRASILEIRO COM O MEDIDOR DE NÍVEL SONORO CLASSE 01 POSICIONADO A 05 METROS E O MEDIDOR DE NÍVEL SONORO CLASSE 02 POSICIONADO A 15 METROS.

### **4.1.1 Valores do nível de pressão sonora (L<sub>pmax</sub>) valor de Pico em dB (A).**

Os testes tiveram início no campo de prova com as passagens dos veículos leves com diferentes velocidades sobre e fora dos sonorizadores. Os medidores de nível de pressão sonoro foram configurados para registrar os valores de pico em dB(A) com distância de 5 e 15 metros, os resultados obtidos estão apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2

**Tabela 4.1 - Níveis de pressão sonora (Lpmax) em dB (A) pela passagem de veículos leves até 1 tonelada sobre e fora dos sonorizadores medidos a uma distância de 15 metros – CS – com sonorizadores; SS – sem sonorizadores.**

VEL - km/h	VL (1)		VL (2)		VL (3)	
	CS	SS	CS	SS	CS	SS
40	69,1	59,9	67,0	59,1	67,6	56,2
40	68,9	60,0	67,5	57,4	66,8	55,9
40	67,6	59,9	67,8	58,2	66,6	57,0
40	67,8	59,8	67,0	59,6	67,5	56,4
40	67,7	59,2	67,1	58,6	68,3	56,5
50	75,0	61,6	70,3	61,3	69,8	58,6
50	74,7	60,6	71,0	60,3	70,5	58,7
50	74,9	61,6	71,5	60,6	69,9	58,3
50	74,8	61,5	71,6	60,5	67,2	58,3
50	74,0	62,3	70,7	60,9	69,7	57,1
60	79,7	64,7	75,6	64,0	71,4	61,6
60	79,1	64,9	75,2	63,1	72,3	61,1
60	79,2	66,0	74,2	63,6	71,7	61,6
60	79,8	65,8	75,2	61,9	72,0	62,6
60	79,7	65,6	74,2	63,6	72,3	62,2

**Tabela 4.2** - Níveis de pressão sonora (Lpmax) em dB(A) pela passagem de veículos leves até 1 tonelada sobre e fora dos sonorizadores medidos a uma distância de 5 metros. – CS – com sonorizadores; SS – sem sonorizadores.

VEL - km/h	VL (1)		VL (2)		VL (3)	
	CS	SS	CS	SS	CS	SS
40	83,2	70,9	80,7	70,5	82,5	67,7
40	83,2	72,1	80,7	69,1	81,4	67,8
40	81,1	71,8	80,2	68,9	81,6	68,1
40	81,6	71,3	81,2	70,6	82,2	67,7
40	82,4	70,0	80,5	70,7	82,1	68,0
50	83,7	73,0	85,6	73,1	83,6	70,2
50	84,1	72,2	84,1	73,1	84,1	70,8
50	84,0	73,3	84,7	73,4	81,9	71,8
50	83,8	73,5	85,1	73,0	82,9	71,7
50	83,7	73,8	84,2	72,7	84,4	69,4
60	88,1	75,8	87,6	76,8	84,9	74,5
60	87,9	77,0	87,3	76,4	86,4	73,7
60	88,9	77,7	89,0	75,5	85,4	73,7
60	88,0	77,8	88,5	75,1	85,8	78,5
60	88,8	77,7	88,9	75,7	85,6	78,4

Em decorrência do tamanho da via, cuja extensão era de aproximadamente 180 metros, as motocicletas tiveram uma limitação de desempenho e não alcançaram a velocidade desejada de 60 km/h. A velocidade delas ficou em 55 km/h. A tabela 4.3 apresenta estes resultados para a passagem sobre e fora dos sonorizadores para uma distância de 15 metros e a tabela 4.4 apresenta os resultados para o (Lpmax) em dB (A) uma distância de 5 metros.

Os ensaios foram realizados no campo de prova sempre por volta das 05:00 hora da manhã, pois neste horário não há fluxo de veículos nas intermediações do campo de prova. O

ruído ambiente ( $L_{ra}$ ) em dB (A) oscilava em torno de 46 dB(A). Assim as vias eram interditadas com cones de sinalização. Todas as variáveis ambientais tais como: Temperatura, Umidade e velocidade do vento foram verificadas. Os medidores do nível de pressão sonora foram calibrados antes de sua utilização. A comunicação entre o condutor do veículo e os operadores dos instrumentos foram estabelecidas via rádio. Por volta das 07:30 e 08:00 horas as atividades eram encerradas pois o ruído ambiente ( $L_{ra}$ ) em dB(A) oscilava em torno de 53 dB(A).

**Tabela 4.3 – Medições do (L<sub>pm</sub>) em dB(A) a partir da passagem das motocicletas sobre e fora do sonorizadores a uma distância de 15 metros.**

VEL - km/h	MOTOCICLETA 50 CC		MOTOCICLETA 150 CC	
	CS	SS	CS	SS
40	60,1	61,2	64,0	62,8
40	62,3	60,8	65,0	62,2
40	61,0	61,6	63,3	60,5
40	60,3	59,2	60,9	60,5
40	60,8	59,7	62,3	61,9
50	66,7	64,3	63,2	65,7
50	67,4	64,2	60,9	65,4
50	66,6	63,5	61,8	66,6
50	69,8	64,3	62,8	64,5
50	68,1	64,0	61,0	66,2
55	75,3	67,9	67,6	63,7
55	71,9	68,7	67,3	66,4
55	71,5	69,3	67,0	65,0
55	70,3	66,7	67,1	64,7
55	71,4	65,7	66,9	65,3

**Tabela 4.4. – Medições do (Lpmax) em dB(A) a partir da passagem das motocicletas sobre e fora do sonorizadores a 5 metros.**

VEL - km/h	MOTOCICLETA 50 CC		MOTOCICLETA 150 CC	
	CS	SS	CS	SS
40	75,9	71,90	79,0	72,9
40	75,0	70,60	75,9	73,4
40	73,4	71,90	74,9	70,7
40	74,6	68,20	76,3	71,1
40	74,3	69,20	76,5	72,0
50	77,9	73,9	77,0	72,0
50	79,0	73,2	75,2	75,1
50	81,7	72,3	75,6	76,1
50	80,3	71,7	76,5	75,7
50	79,9	74,7	75,2	76,2
55	81,00	78,6	80,0	73,6
55	80,00	76,8	79,4	75,7
55	80,50	77,4	78,0	76,9
55	81,30	76,8	78,0	75,7
55	81,00	78,3	78,7	74,1

Durante a passagem dos veículos movidos a diesel e com peso superior a uma tonelada sobre e fora dos sonorizadores, também houve uma limitação do desempenho em virtude da extensão da via. A extensão era de cerca de 70 metros para aceleração, o que impossibilitava que os veículos a diesel alcançassem a velocidade de 60 km/h. A tabela 4.5 apresenta os resultados das medições dos valores de pico para uma distância de 15 metros e a tabela 4.6 apresenta resultados das medições dos valores de pico para uma distância de 5 metros no campo de prova.

**Tabela 4.5 -- Medições do (Lpmax) em dB(A) a partir da passagem dos veículos diesel acima de 1 tonelada sobre e fora do sonorizadores a 15 metros.**

VEL - km/h	VD(1)		VD(2)		VD(3)	
	CS	SS	CS	SS	CS	SS
40	72,9	74,7	81,5	79,9	71,9	69,1
40	76,9	75,9	81,3	80,5	73,1	69,0
40	74,0	75,0	79,3	79,7	73,7	68,8
40	77,8	72,7	79,0	79,1	72,9	68,5
40	76,3	73,2	79,3	79,1	72,9	68,2
50	~	~	~	~	78,6	75,8
50	~	~	~	~	77,8	77,7
50	~	~	~	~	80,1	75,3
50	~	~	~	~	80,5	79,4
50	~	~	~	~	79,0	79,1

**Tabela 4.6. – Medições do (L<sub>pmax</sub>) em dB(A) a partir da passagem dos veículos diesel sobre e fora do sonorizadores a uma distância de 05 metros.**

VEL - km/h	VD(1)		VD(2)		VD(3)	
	CS	SS	CS	SS	CS	SS
40	84,6	88,9	92,1	90,8	84,3	81,2
40	89,3	83,8	88,2	90,3	84,9	79,9
40	86,1	87,0	85,1	91,5	86,1	79,7
40	89,9	86,1	90,6	90,2	85,6	79,7
40	87,4	85,6	87,6	90,8	84,5	79,6
50	~	~	~	~	88,2	84,2
50	~	~	~	~	88,0	87,3
50	~	~	~	~	89,4	86,1
50	~	~	~	~	90,8	91,1
50	~	~	~	~	89,2	89,5

#### **4.1.2 Valores do nível de pressão sonora equivalente (L<sub>Aeq(5s)</sub>) em dB(A).**

Para realizar o cálculo do nível de pressão sonora equivalente a ser utilizado como modelo de previsão, o equipamento foi calibrado e configurado para um tempo de aquisição de cinco segundos. Isso ocorreu porque o intervalo de tempo em que o ruído ambiente foi alterado pela passagem do veículo nas proximidades do equipamento de medição foi da ordem de seis segundos. Todos os medidores de pressão sonora foram calibrados antes de sua utilização.

Para distância de 5,0 metros e tempo de aquisição de 5 segundos foi medido o nível de pressão sonora equivalente emitida pela passagem dos veículos leves até uma tonelada, motocicletas e veículos a diesel acima de uma tonelada sobre e fora dos sonorizadores no campo de prova, cujos dados estão apresentados nas tabelas 4.7, 4.8 e 4.9.

**Tabela 4.7** - Níveis de pressão sonora Laeq(5s) em dB(A) pela passagem de veículos leves até 1 tonelada sobre e fora do sonorizadores medidos a uma distância de 5 metros. CS – com sonorizadores; SS – sem sonorizadores.

VEL - km/h	VL (1)		VL (2)		VL (3)	
	CS	SS	CS	SS	CS	SS
40	73,0	61,9	71,9	65,1	71,4	57,4
40	72,9	63,0	71,1	64,3	71,2	60,1
40	72,0	63,2	71,0	64,1	71,2	61,4
40	71,5	62,5	71,5	64,9	71,9	61,0
40	71,9	62,3	71,1	64,7	71,8	60,0
50	74,3	65,3	73,4	66,4	72,6	60,9
50	74,9	66,0	73,4	66,2	74,1	61,1
50	74,4	65,4	75,2	66,6	73,3	60,9
50	74,2	65,0	74,4	65,7	72,0	61,2
50	74,7	64,8	73,7	66,6	72,8	60,4
60	78,4	67,5	77,4	69,3	72,6	64,1
60	77,5	67,9	76,3	69,2	67,6	62,9
60	78,3	66,3	76,6	67,4	74,5	64,7
60	77,7	68,0	76,9	67,9	73,7	64,3
60	76,7	67,6	76,1	69,1	74,4	65,0

**Tabela 4.8** - Níveis de pressão sonora Laeq(5s) em dB(A) pela passagem de motocicletas sobre e fora do sonorizadores medidos a uma distância de 5 metros. CCS – com sonorizadores; SS – sem sonorizadores.

VEL - km/h	MOTOCICLETA 50 CC		MOTOCICLETA 150 CC	
	CS	SS	CS	SS
40	66,6	64,9	66,4	66,0
40	66,2	64,4	68,5	65,0
40	65,1	65,4	63,8	64,1
40	65,6	62,7	65,7	64,0
40	65,5	63,4	66,4	62,8
50	69,2	63,4	66,9	64,2
50	69,5	66,6	64,5	58,7
50	72,4	65,8	66,2	64,0
50	69,7	65,9	67,0	63,6
50	70,0	67,5	65,1	60,6
55	72,6	70,4	62,1	61,5
55	72,9	71,4	64,1	58,0
55	71,9	71,4	64,0	68,0
55	73,0	69,3	67,2	64,5
55	72,9	70,2	67,8	63,8

**Tabela 4.9** - Níveis de pressão sonora Laeq(5s) em dB(A) pela passagem de veículos diesel acima de 1 tonelada sobre e fora do sonorizadores medidos a uma distância de 5 metros.

VEL - km/h	VD (1)		VD (2)		VD (3)	
	CS	SS	CS	SS	CS	SS
40	76,2	77,1	83,5	83,9	77,5	73,7
40	79,3	75,4	80,5	83,0	74,7	72,8
40	77,4	78,2	78,6	83,6	75,7	73,0
40	80,5	77,5	82,4	83,6	76,2	72,9
40	78,2	78,3	75,1	83,3	75,9	72,7
50	~	~	~	~	76,4	75,3
50	~	~	~	~	77,7	77,9
50	~	~	~	~	78,4	76,5
50	~	~	~	~	79,7	80,7
50	~	~	~	~	79,2	80,1

#### **4.1.3 Análise das variações do nível de pressão sonora em valor de pico - Lpmax em dB(A) em funções das distintas velocidades adotadas nos ensaios para diferente categoria de veículos comparados com a variação do ruído ambiente no campo de prova;**

Os resultados foram obtidos para uma distância fixa de 15 metros do eixo da via em que trafegaram os veículos (ponto A na Figura 3.2). Para a passagem dos veículos leves sobre os sonorizadores com velocidade de 40 km/h, pode-se verificar que o incremento médio no nível de intensidade sonora em relação ao ruído ambiente variou de 14,00 dB(A) no iníciodos ensaios até o final onde a diferença era de 07,00 dB (A); para as motocicletas, verificou-se que o incremento médio no nível de intensidade sonora em relação ao ruído ambiente variou de 16,8 dB(A) no início dos ensaios até o final onde a diferença era de 09,8 dB (A); e para os veículos a diesel que o incremento médio no nível de intensidade sonora em relação ao ruído ambiente

---

variou de 34,5 dB(A) no início dos ensaios até o final onde a diferença era de 27,5 dB (A); Já o incremento do nível de pressão sonora pela passagem dos veículos nos sonorizadores em relação à passagem fora dos sonorizadores foi de 9,1 dB (A) para os veículos leves; 1,2 dB (A) para as motocicletas e 1,0 dB (A) para os veículos a diesel.

Para a velocidade de 50 km/h, nas mesmas condições, pode-se verificar que o incremento médio no nível de intensidade sonora em relação ao ruído ambiente variou de 16,3dB(A) no início dos ensaios até o final onde a diferença era de 09,3 dB (A); para as motocicletas, verificou-se que o incremento médio no nível de intensidade sonora em relação ao ruído ambiente variou de 20,6 dB(A) no início dos ensaios até o final onde a diferença era de 13,6 dB (A); e para os veículos a diesel que o incremento médio no nível de intensidade sonora em relação ao ruído ambiente variou de 33,4 dB(A) no início dos ensaios até o final onde a diferença era de 26,4 dB (A); Já o incremento do nível de pressão sonora pela passagem dos veículos sobre os sonorizadores com relação à passagem fora dos sonorizadores foi de 12,7 dB (A) para os veículos leves; 3,2 dB (A) para as motocicletas e 1,1 dB (A) para os veículos a diesel.

Para a velocidade de 60 km/h, nas mesmas condições, o incremento médio no nível de pressão sonora em relação ao ruído ambiente , pode-se verificar que o incremento médio no nível de intensidade sonora em relação ao ruído ambiente variou de 20,00 dB(A) no início dos ensaios até o final onde a diferença era de 15,00 dB (A); para as motocicletas, verificou-se que o incremento médio no nível de intensidade sonora em relação ao ruído ambiente variou de 23,3 dB(A) no início dos ensaios até o final onde a diferença era de 16,3 dB (A); e para os veículos a diesel não foi possível a realização de ensaios pois a pista era muito curta e não permitia o desenvolvimento da velocidade

Já o incremento do nível de pressão sonora pela passagem do veículo no sonorizadores em relação à passagem fora do sonorizadores foi de 13,8 dB (A) para os veículos leves e de 6,0 dB (A) para as motocicletas com velocidade de 55 km/h, conforme apresentado na tabela.

**Tabela 4.10** - Incremento do N.P.S. em valores de pico pela passagem dos veículos nos sonorizadores em relação ao ruído ambiente e a passagem fora.

$L_{cs} = NPS_{max} \text{ com sonorizador}$	<b>Veículos Leves até 01 tonelada dB(A)</b>	<b>Motocicletas dB(A)</b>	<b>Veículos diesel dB(A)</b>
$L_{ss} = NPS_{max} \text{ sem sonorizador}$			
$La = 53 \text{ dB(A) Ruído Ambiente}$			
$L_{cs} - La = (40 \text{ Km/h})$	14,0	16,8	34,5
$L_{cs} - L_{ss} = (40 \text{ Km/h})$	9,1	1,2	1,0
$L_{cs} - L_{ss} = (50 \text{ Km/h})$	12,7	3,2	1,1
$L_{cs} - La = (50 \text{ Km/h})$	16,3	20,6	33,4

Dos valores obtidos, para a faixa de velocidades investigadas, verifica-se que a inclusão do sonorizadores é mais significativa para os veículos leves não produzindo efeito apreciável para as motocicletas e veículos a diesel. Dessa forma, resulta em um acréscimo de 9,1 a 12,7 dB (A), que é crescente com o aumento da velocidade de travessia.

#### 4.2 SELEÇÕES DAS VIAS URBANAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO MODELO.

O município de João Pessoa registrou um aumento significativo de sua frota de veículos. De acordo com o Denatran saiu de uma frota de 100427 veículos em 2000 para 207888 em 2009. Este aumento na quantidade de veículos em circulação, verifica-se com o aumento do fluxo de veículos e a redução da velocidade com que estes se deslocam. Assim adota-se para o desenvolvimento do modelo de predição de ruído as condições aqui reunidas, avaliadas e presentes nas vias, consideradas como sendo os principais corredores de tráfego de veículos, sendo estas: Av. Min. José Américo de Almeida, Via Expressa Padre Zé e Av. Presidente Epitácio Pessoa estudadas por Melo *et al.* (2010) por possuírem as seguintes características: São vias de interligação de bairros populosos ao centro comercial da cidade; possuem 02 ou mais faixa de rolamento com relevo plano com pequena declividade em grande parte de suas extensões; Velocidade média dos veículos variando no entorno de 55 Km/h, Faixa de domínio

sem superfícies refletoras de som; vias com revestimento asfáltico com razoável estado de conservação e distância de referência com 25 metros entre a fonte sonora e o medidor de nível de pressão sonora.

Apresentam-se ainda, os dados para fluxo, composição de fluxo e velocidades médias por categorias de veículos através das tabelas 4.15 a 4.17.

**Tabela 4.11** Valores das variáveis presentes por faixas de tráfego na Av. José Américo de Almeida:

Faixa	Veic/h	FLUXO			COMPOSIÇÃO			VELOCIDADES (km/h)		
		MOTOCICLETA	VEIC LEVES	CAMINHÃO	ÔNIBUS	MOTOCICLETA	VEIC LEVES	CAMINHÃO	ONIBUS	
1	537	87	427	15	8	52,8	51,4	55	40	
2	459	41	417	1	0	54,1	53,6	54,6	39	
3	304	15	288	1	0	59,3	59,3	59,8	43,2	
4	318	62	243	5	8	46	45,8	40	52,5	

Fonte: Melo *et al.* (2010).

**Tabela 4.12** Valores das variáveis presentes por faixas de tráfego na Av. Presidente Epitácio Pessoa:

faixa	Veic/h	FLUXO			COMPOSIÇÃO			VELOCIDADES (km/h)		
		MOTOCICLETA	VEIC LEVES	CCAMINHÃO	ONIBUS	MOTOCICLETA	VEIC LEVES	CAMINHÃO	ONIBUS	
1	268	31	206	7	24	88,42	83,27	88,42	40	
2	436	16	418	1	1	80	76,46	65	60	
3	436	80	350	4	2	62,16	98,88	70	65	
4	326	59	229	16	22	64,68	71	45,98	34,8	

**Tabela 4.13** - Valores das variáveis presentes por faixas de tráfego na Av. Senador José Américo:

a	Veic/h	COMPOSIÇÃO				VELOCIDADES (km/h)			
		MOTOCICLETA	VEIC LEVES	CCAMINHÃO	ONIBUS	MOTOCICLETA	VEIC LEVES	CAMINHÃO	ONIBUS
1	719	106	579	17	17	71	65,4	40	40
2	462	58	395	6	3	83,8	76,3	68,3	74,5
3	655	43	610	1	1	70	65	68,3	74,5
4	655	138	478	16	23	65	64	48,6	34

Fonte: Melo *et al.* (2010)

Complementando os dados acima, foram calculadas as variáveis como velocidade média por faixa, composição do ruído ambiente no fluxo e distâncias das faixas para o medidor de nível de pressão sonora nas três avenidas. Os dados são apresentados e adotados das tabelas 4.7. a 4.9.

#### 4.3 ELABORAÇÃO DE MODELO DE PREDIÇÃO DE RUÍDO PARA UM FLUXO DE VEÍCULOS QUALQUER NA VIA URBANA.

O modelo proposto adota, na sua essência, variáveis com características típicas do tráfego urbano, a exemplo da faixa de velocidade empregada no campo de prova. O tempo de aquisição adotado de 5 segundos limita a composição do fluxo total por faixa de deslocamento de 720 veículos para o intervalo de tempo de 01 (uma) hora. O modelo aqui elaborado deverá assumir uma identidade própria adotando os dados gerados nos ensaios do campo de prova para a simulação do tráfego urbano, com a determinação do cálculo do ruído gerado em dB(A) pelo fluxo de veículos qualquer para o intervalo de tempo de 01 hora, o mesmo foi denominado de RIRU – Ruído Imissivo em Rodovia Urbana.

Considerou-se a passagem fora dos sonorizadores por categorias de veículos, conforme os valores constantes das tabelas de 4.11 aos valores da Tabela 4.14 deste estudo para calcular o nível de pressão sonora equivalente ao número de veículos leves ( $q_{VL}$ ), motocicletas ( $q_{MT}$ ) e veículos a diesel ( $q_{VD}$ ), com o equipamento calibrado para medição do  $L_{Aeq(5s)}$  em dB(A)

que irá integrar as composições de fluxos apresentadas para o período de tempo de 01 (uma) hora. De acordo com a equação 03 apresenta-se as seguintes equações para o cálculo do nível de pressão sonora em dB(A) por categoria de veículos na composição de um fluxo de veículos qualquer:

$$L_{VL(1\ h)} = \left[ 10 \times \log \left( \frac{1}{nVL} \times \sum_{i=1}^{nVL} 10^{\left( \frac{L_{VL(5s)}}{10} \right)} \right) \right] \text{Veículos leves} \quad (21)$$

$$L_{MT(1\ h)} = \left[ 10 \times \log \left( \frac{1}{nMT} \times \sum_{i=1}^{nMT} 10^{\left( \frac{L_{MT(5s)}}{10} \right)} \right) \right] \text{Motocicletas} \quad (22)$$

$$L_{VD(1\ h)} = \left[ 10 \times \log \left( \frac{1}{nVD} \times \sum_{i=1}^{nVD} 10^{\left( \frac{L_{VD(5s)}}{10} \right)} \right) \right] \text{Veículos Diesel} \quad (23)$$

$$L_{ra(1h)} = \left[ 10 \times \log \left( \frac{1}{720 - N} \times \sum_{i=1}^{720-N} 10^{\left( \frac{L_{ra(5s)}}{10} \right)} \right) \right] \text{Ruído Ambiente} \quad (24)$$

Nas fórmulas 21, 22, 23 e 24 apresentam-se as equações que integram o cálculo a partir do  $L_{Aeq(5s)}$ . Individualmente por categoria de veículo e o ruído ambiente em dB(A) proporcionando a integralização da composição do fluxo para o período de 01(uma) hora incluindo quando necessário o ruído ambiente.

Adota-se  $\underline{N_a} = nVL$ ,  $\underline{N_m} = nMT$  e  $\underline{N_h} = nVD$  que são as quantidades de veículos leves, motocicletas e veículo diesel em circulação na faixa de rolamento no campo de prova. N é o resultado do somatório da quantidade de veículos em cada categoria, ou seja,  $N = nVL + nMT + nVD$ , ou  $N = \underline{N_a} + \underline{N_m} + \underline{N_h}$ . Considerando que foi calibrado no medidor do nível de pressão sonora o período de 5 segundos para captação do nível de pressão sonora para cada veículo. Em uma faixa de rolamento de uma via para o intervalo de tempo de 01 hora haverá no máximo 720 veículos. Assim se o número de veículos for menor do que 720 na faixa, a diferença será integralizada com o ruído de fundo ou o ruído ambiente em dB(A) medido no campo de prova com o equipamento configurados para um tempo de captação do ruído ambiente de 05 segundos definido na formula 24 como  $L_{ra(5s)}$  e integralizada para o período de 01 hora, para o valor equivalente a  $N_{ra} = 720 - N$  e representado por  $L_{ra(1h)}$  em dB(A). Onde  $N +$

$N_{ra} = 720$  veículos e a **CS** e a **SS**, representando o nível equivalente sonoro pela passagem dos veículos leves em cima dos sonorizadores e fora destes. **m CS** e **m SS** representando o nível equivalente sonoro pela passagem das motocicletas cima dos sonorizadores e fora destes. E **h CS** e **h SS** como sendo os representantes do nível equivalente sonoro pela passagem dos veículos a Diesel em cima dos sonorizadores e fora dos sonorizadores.

Assim o modelo denominado de RIVU, cujo o resultado obtém-se do somatório das equações acima com a combinação definida pelo fluxo que circulam pelas faixas nas vias urbanas admitindo-se a composição com o ruído ambiente quando o fluxo por faixa for menor que 720 veículos, pode ser obtido e representado pelas equações 25 e 26 a seguir:

$$L_{Aeq(1h)} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{720} \left( \sum_{i=1}^{nVL} 10^{\frac{(L_{Aeq(5s)VL})}{10}} \right) + \left( \sum_{i=1}^{nMT} 10^{\frac{L_{Aeq(5s)MT}}{10}} \right) + \left( \sum_{i=1}^{nVD} 10^{\frac{L_{Aeq(5s)VD}}{10}} \right) + \sum_{i=1}^{N-720} 10^{\frac{L_{ra(5s)}}{10}} \right] \quad (25)$$

Substituindo os termos.  $\underline{N_a} = nVL$ ,  $\underline{N_m} = nMT$  e  $\underline{N_h} = nVD$  e  $N_{ra} = 720 - N$ , na fórmula acima obtemos:

$$L_{Aeq(1h)} = 10 \times \log \left[ \frac{1}{720} \left( \sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{(L_{Aeq(5s)VL})}{10}} \right) + \left( \sum_{i=1}^{N_m} 10^{\frac{L_{Aeq(5s)MT}}{10}} \right) + \left( \sum_{i=1}^{N_h} 10^{\frac{L_{Aeq(5s)VD}}{10}} \right) + \sum_{i=1}^{N_{ra}} 10^{\frac{L_{ra(5s)}}{10}} \right] \text{ em dB(A).} \quad (26)$$

$L_{Aeq(1h)}$  - Nível de Pressão Sonora em dB(A) para o fluxo de veículos para o período de 01(uma)hora;

$L_{(VL1h)}$  - Nível de Pressão Sonora (Valor médio em dB (A) emitidos por veículos leves até 1 tonelada fora dos sonorizadores Tab. 10);

$L_{(MT1h)}$  - Nível de Pressão Sonora (Valor médio em dB (A) emitidos por motocicletas fora dos sonorizadores Tab. 10);

**$L_{(VDIh)}$**  – Nível de Pressão Sonora (Valor médio em dB (A) emitidos por veículos diesel acima de uma tonelada fora dos sonorizadores. Tab. 10);

**$L_{ra(Ih)}$**  – Nível de ruído ambiente médio em dB (A);

Assim, para uma rodovia com várias faixas de rolamento o cálculo do  $L_{Aeq(1h)}$  em dB(A) pode ser calculado pela equação 27.

$$L_{Aeq(1h)} = 10 \times \log \left( 1/N_j \times \sum_{j=1}^{N_j} 10^{(L_{Aeq(1h)j})/10} \right) \text{ em dB(A)} \quad (27)$$

Onde: J – é o número de faixas de rolamento existentes na rodovia;

$L_{Aeq(1h)}$  – E o nível de pressão sonora equivalente em dB(A) para uma rodovia com fluxo de veículos em várias faixas;

$L_{Aeq(1h)j}$  – E o nível de pressão sonora equivalente em dB(A) para uma faixa de rolamento j de uma rodovia com fluxo de veículos;

#### 4.4 CÁLCULO DO INCREMENTO NO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE EM dB(A) COM A INSTALAÇÃO DOS SONORIZADORES

Os resultados são apresentados na tabela 4.20, que apresenta as duas condições previstas pelo RIRU (2011), ou seja, o nível de pressão sonora equivalente para o período de uma hora sem os sonorizadores e com os sonorizadores.

A partir das tabelas 4.7, 4.8 e 4.9 calculou-se os valores representativos para cada categoria de veículos adotando-se os critérios e parâmetros obtidos no campo de prova tais como:

**Tabela 4.14-** Valores dos níveis de pressão sonora em várias avenidas obtidos com a aplicação do RIRU por faixas de tráfego:

<b>Av.</b>	Laeq(01 hora) Sem Sonorizadores dB(A)				Laeq(01 hora) Com sonorizadores dB(A)			
	FAIXA 01	FAIXA 02	FAIXA 03	FAIXA 04	FAIXA 01	FAIXA 02	FAIXA 03	FAIXA 04
1	65	63	62	63	72	72	70	70
2	64	65	66	69	72	74	74	73
3	70	66	67	71	76	74	76	76

Ruído ambiente de 53 dB(A), distância da fonte para o equipamento de medição de 05 metros e o tempo de medição de 5 segundos. Assim com a aplicação da equação 03 obteve-se os seguintes resultados:

**Tabela 4.15** - Valores da velocidade média por faixa, distâncias da faixa e ciclos do ruído ambiente (Lra) na composição do fluxo.

<b>faixas</b>	<b>Vel. Média (km/h)</b>	<b>Dist. Para o medidor (m)</b>	<b>ciclos de Lra.</b>
AV. José Américo de Almeida – 01			
1	49,8	3,53	183
2	50,3	6,98	261
3	55,4	16,43	416
4	46,1	19,9	402
AV. Presidente Epitácio Pessoa – 02			
1	75	7,9	452
2	70,4	11,5	284
3	74	20,55	284
4	54,1	24,2	394
AV. Senador Rui Carneiro – 03			
1	54,1	10,4	1
2	75,7	13,9	258
3	69,5	19,15	65
4	52,9	23,5	65

**Tabela 4.16.** Valores referencias obtidos em dB (A) para cada categoria de veículos obtidos a partir do campo de prova:

Velocidades	a CS	a SS	m CS	m SS	h CS	h SS
40 km/h	71,73	62,51	69,14	67,4	79	80
50-55 km/h	73,58	64,73	71,72	67,69	76,1	73,03
60 km/h	76,26	67,16	73,45	71,28	-	-

**Tabela 4.17** - Níveis de pressão sonora equivalente em dB (A) calculados pelo RIVU(2011) para o ruído de tráfego sem e com a instalação de sonorizadores nas vias em zona urbana.

Avenidas: Condições:	Laeq(1h)Sem sonorizadores	Laeq(1h)Com Sonorizadores
José Américo de Almeida	63 dB (A)	71 dB (A)
Epitácio Pessoa	67 dB (A)	73 dB (A)
Rui Carneiro	70 dB (A)	76 dB (A)

Pelos resultados obtidos com a aplicação do modelo proposto e desenvolvido neste estudo, o incremento do nível de pressão sonora equivalente para o ruído do tráfego em avenidas na zona urbana varia de 6 dB(A) a 8,0 dB(A) decorrente da instalação dos sonorizadores com o padrão brasileiro.

#### 4.5 APLICAÇÕES DOS MODELOS DISPONÍVEIS E SELECIONADOS NA LITERATURA, PARA A VALIDAÇÃO OU NÃO DO MODELO DESENVOLVIDO NESTE ESTUDO USANDO AS CONDIÇÕES DE TRÁFEGO LOCAL LEVANTADAS POR Melo *et al.* (2010).

Em síntese, estes modelos calculam o decaimento sonoro entre duas posições distintas. A primeira é a distância de referência pré-fixada para medir o nível de pressão sonora com relação à passagem dos veículos. A segunda é a distância das faixas que compõem a rodovia, levando em considerações variáveis como fluxos, textura do pavimento, composições e velocidades.

A importância dos modelos ocorre pelo importante auxílio para engenheiros e gestores do tráfego. Ao definirem-se as condições de aplicação, obtém-se os valores das variáveis envolvidas a partir de medições realizadas em campo, a exemplo de medições dos níveis de

pressão sonora, composição de fluxo por faixa, largura das faixas, velocidades médias por categorias de veículos, tipo de pavimento e percentual de veículos pesados.

Com os dados obtidos para as três avenidas, aplicaram-se os modelos descritos a seguir: Kinsler *et al.*, (1982), HMSO, (1988), Celenk *et al.*, (1997), Calixto *et al.*, (2001), Pamanikabud *et al.*, (2002), Tansatcha *et al.*, (2005) e o RIRU (2011). O gráfico abaixo apresenta os níveis de pressão sonora calculados pelos modelos para as condições de tráfego das três avenidas, incluindo as medições de campo. As curvas obtidas apresentam a variação dos resultados entre os modelos disponibilizados na literatura, o modelo proposto e as medições de campo, conforme tabela 4.17 acima.

**Tabela 4.18 – calibração dos modelos**

vias	Vm - Valores medidos em dB(A)	Largura da via (m)	LAEQ						
			dB(A)	Parmanikabud et al.	Kinsler	HMSO 1988	ÇELENK et al.	Tansatcha et al. (2005)	Calixto et al. (2008)
1	75	71	69	72	75	72	73	69	
2	72	73	70	73	76	71	74	70	
3	75	75	71	69	75	72	76	70	
			4	6	3	0	3	2	6
Calculo da média e do desvio padrão.			-1	2	-1	-4	1	-2	2
			0	4	6	0	3	-1	5
			5,33	8,00	4,00	0,00	4,00	2,67	8,00
			1,33	2,67	1,33	5,33	1,33	2,67	2,67
Erro Relativo			0,00	5,33	8,00	0,00	4,00	1,33	6,67

Fonte: do autor.

Observando as variações ocorridas nos resultados obtidos, podemos constatar que, para o modelo proposto, o nível de pressão sonora equivalente se aproxima do valor obtido pelo modelo do Kinsler (1982) para a Av. Presidente Epitácio Pessoa, e apresentam os mesmos resultados para as demais. O modelo Inglês HSMO (1988) apresenta variação média de 2,0 dB (A) em relação aos resultados do modelo proposto (RIRU) para as condições de tráfego aplicadas nas três avenidas.

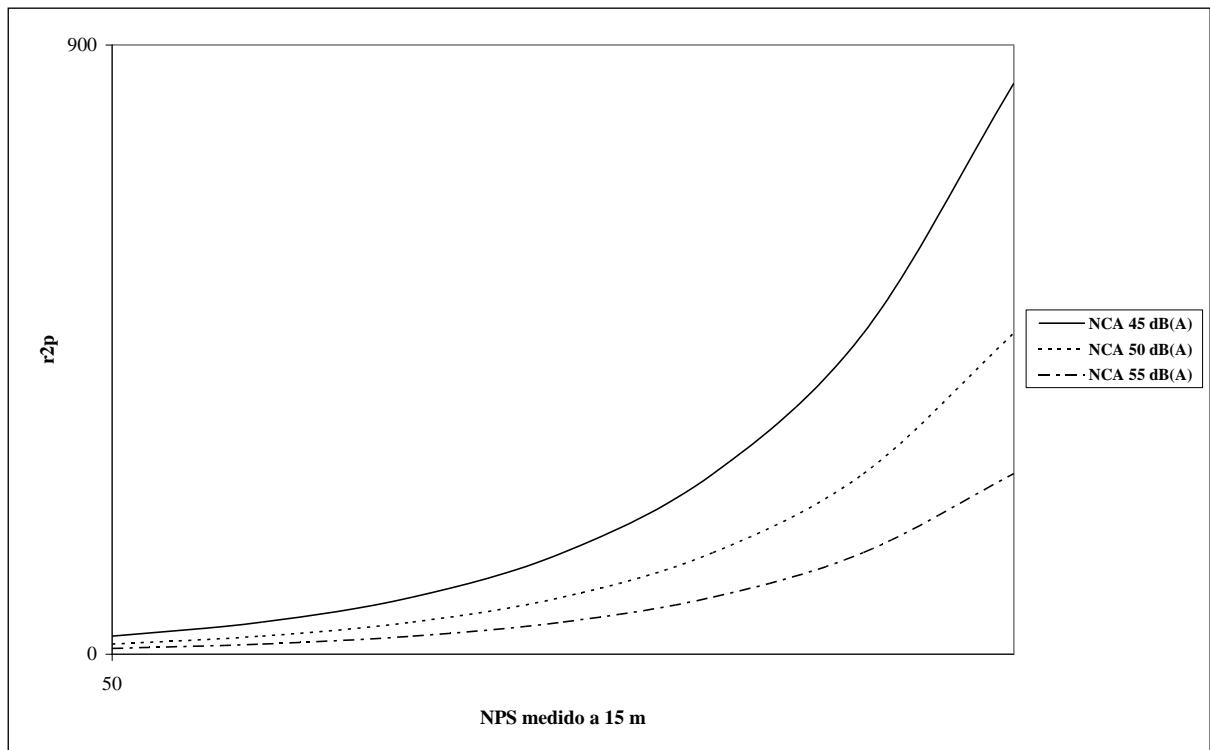
Ao analisar-se os resultados obtidos, percebe-se que o modelo proposto RIRU(2011) assume comportamento idêntico aos demais, com exceção do Tansatcha et al(2005) e uma aproximação muito forte nos resultados com o Kinsler *et al* (1982), o que assegura a sua validação como modelo de predição de ruído do tráfego de veículos em zona urbana.

#### 4.6 DISTÂNCIAS ENTRE OS SONORIZADORES E AS EDIFICAÇÕES LINDEIRAS APLICANDO A EQUAÇÃO DO DECAIMENTO

Considerando que a passagem individual de veículos sobre os sonorizadores produz emissões sonoras para vizinhança, estas podem ser determinadas, em caráter investigativo preliminar, as distâncias limites em relação às edificações lindeiras para instalação desses equipamentos. Isso é possível de ser feito a partir dos valores medidos para cada categoria de veículos de forma que os níveis critérios estabelecidos (NCA) para ambientes externos da NBR 10151 (ABNT, 2000) não sejam ultrapassados. Pode-se, então, utilizar a Equação 1 para obter as distâncias limites do sonorizadores para edificações lindeiras em função dos níveis critérios de avaliação. Assim, a distância  $r_2$  procurada, denominada de  $r_{2p}$ , será calculada através da equação 1.

Após aplicação da equação 1, considerando o horário noturno, por ter um padrão de emissão mais restritivo, foram obtidas as distâncias critério  $r_{2p}$  [m] do mesmo para edificações lindeiras para as três categorias de veículos ensaiados com diferentes velocidades. A figura 2 representa de forma genérica o comportamento da equação 1, relacionando o cálculo da distância critério para os valores dos NPS- níveis de pressão sonora, obtidos a partir dos experimentos no campo de prova para uma distância de 15 metros, assumindo valores de 45, 50 e 55 dB(A) para o NCA - nível critério de avaliação.

**Figura 4.1** - Representação da equação 1.a para cálculo da distância critério em função de valores de NCA.



Os valores calculados, conforme tabelas 4.19 a 4.21, são apresentados como distâncias critérios de edificações lindeiras a serem consideradas para instalação de sonorizadores, em rodovias de áreas urbanas, considerando os tipos de áreas contidas na ABNT: NBR 10151/2000.

**Tabela 4.19** - Distâncias dos sonorizadores para edificações lindeira referente à passagem de veículos leves até uma tonelada com diferentes velocidades (40, 50 e 60 km/h)

TIPOS DE ÁREA	NCA	DISTÂNCIA CRITÉRIO $r_{2p}$ , [m]		
		dB(A)	Velocidades 40 km/h	50 km/h
Área estritamente residencial				
Urbana ou de hospital ou de escolas.	45		204	348
				568
Área mista, predominantemente				
Residencial.	50		115	196
				320
Área mista, com vocação.				
Comercial e administrativa.	55		65	110
				180
Área mista, com vocação recreacional	55		65	110
				180
Área predominantemente industrial	60		36	62
				101

**Tabela 4.20** - Distâncias dos sonorizadores para edificações lindeiras referentes à passagem de motocicletas de 50 e 150 cilindradas, com diferentes velocidades (40, 50 e 55 km/h)

TIPOS DE ÁREA	NCA	DISTÂNCIA CRITÉRIO $r_{2p}$ , [m]				
		dB(A)	Velocidades	40 km/h	50 km/h	
Área estritamente residencial						
Urbana ou de hospital ou de escolas.	45			110	166	285
Área mista, predominantemente						
Residencial.	50			62	93	160
Área mista, com vocação.						
Comercial e administrativa.	55			35	53	90
Área mista, com vocação recreacional.	55			35	53	90
Área predominantemente industrial	60			20	30	51

**Tabela 4.21** - Distâncias dos sonorizadores para edificações lindeiras referente a passagem de veículos diesel acima de uma tonelada com velocidades de 40 km/h e 50 km/h.

TIPOS DE ÁREA	NCA	DISTÂNCIA CRITÉRIO $r_{2p}$ , [m]		
		dB (A) Velocidades	40 km/h	50 km/h
Área estritamente residencial urbana ou hospital ou de escolas.	45	624		-
				779
Área mista, predominantemente.				
Residencial.	50	351	438	-
Área mista, com vocação				
comercial e administrativa.	55	197	246	-
Área mista, com vocação recreacional.				-
	55	197	246	
Área predominantemente industrial				
	60	111	139	-

Um outro aspecto a considerar é quando o ruído ambiente Lra ultrapassa o NCA. No momento em isto ocorre, de acordo com a NBR 10151 (ABNT, 2000), o NCA assume o valor de Lra. Desta forma, também é possível determinar a distância dos sonorizadores das edificações lindeiras em função do ruído ambiente. Para exemplificar, as distâncias foram determinadas, levando em consideração a variação do ruído ambiente no campo de prova, que foi de 46 dB (A) a 53,0 dB(A). Aplicando a Equação 3, foram calculadas as distâncias critérios, conforme Tabela 4.4.

**Tabela 4.22** - Distância dos sonorizadores para edificações lindeiras com relação ao ruído ambiente, para velocidades de 40, 50 e 60 km/h.

Veículos	NCA = La	Ruído Ambiente	DISTÂNCIA CRITÉRIO $r_{2p}$ , [m]		
			dB (A) Velocidades; 40 km/h	50 km/h	60 km/h
Veículos leves	46		182	311	507
	53		81	139	226
Motocicletas	46		98	148	254
	53		44	93	113
Veículos a Diesel	46		556	694	-
	53		248	310	-

Os resultados obtidos demonstram que, para os sonorizadores padrão brasileiro, quanto maior a velocidade do veículo, maior é o incremento do ruído em relação ao ruído ambiente. Consequentemente, maior é a distância de instalação com relação às edificações. Para veículos leves com até uma tonelada, quanto maior a velocidade, maior o incremento no nível de intensidade sonora. Vale ressaltar que nas tabelas 4.19 a 4.22 a elevação das velocidades resulta em um aumento das distâncias dos sonorizadores em relação às edificações lindeiras. De acordo com a tabela 4.22, quanto maior o nível critério de avaliação adotado, menor a distância dos sonorizadores em relação à edificação lindeira.

As distâncias encontradas, a partir de uma fonte pontual ou uma fonte linear, uma vez empregada, asseguram a qualidade sonora do ambiente com relação à passagem de veículos sobre os sonorizadores, desde que observado o fluxo. Ou seja, para um fluxo baixo, a fonte sonora se aproxima de uma fonte pontual. Se o fluxo é intenso, a fonte se comporta como uma fonte linear. Logo, o nível de pressão sonora oscila entre os valores  $r_{2p}$  (fonte pontual) e  $r_{2L}$  (fonte linear) dependendo da composição do fluxo. Ao determinar a distância dos sonorizadores para as edificações lindeiras, assegura-se que o nível de pressão sonora emitido pelo fluxo de veículos sobre os sonorizadores será igual ou inferior aos Níveis Critérios de Avaliação-NCA preconizados pela NBR 10151/2000 da ABNT.

---

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como fonte geradora de poluição sonora, os sonorizadores proporcionam um desconforto auditivo para a vizinhança imediata da área onde são instalados. Embora haja uma diversidade de modelos de sonorizadores na literatura internacional, cada qual servindo a uma função específica a depender das características locais, no Brasil o estudo da temática ainda é muito incipiente, onde tem-se a aplicação do modelo de sonorizador padrão brasileiro quando existe uma condição de insegurança nas vias.

Ao estabelecer os NCA – Níveis Critérios de Avaliação (limites) para os níveis de pressão sonora em ambientes externos, o CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente assegura aos cidadãos o direito à qualidade sonora ambiental. Dessa forma, os órgãos gestores responsáveis pelas vias e rodovias, ao planejar a segurança dos pedestres e animais, devem observar também a qualidade sonora do ambiente para os habitantes que residem ou trabalham nas imediações dos locais onde foram instalados os sonorizadores.

O estudo apresenta como contribuição, um referencial constituído pelas distâncias mínimas que os sonorizadores padrão brasileiro deve ser instalados das edificações lindeiras de forma a garantir a qualidade sonora do ambiente quando da interceptação dos sonorizadores pelos veículos. Desta forma tenta-se suprir uma lacuna deixada quando da edição da 39/98 do CONTRAN.

O modelo de previsão de ruído para o tráfego de veículos em vias urbanas ora proposto, o RIRU, cuja identidade e função foram constituídas a partir de variáveis obtidas em ensaios no campo de prova, com veículos com características diferentes divididos nas categorias leves, (pesados)diesel e (pequenos)motocicletas com velocidade variando entre 40 e 60 km/h e tempo de aquisição de 5 segundos para medição do Laeq em dB(A), se mostrou eficiente quando comparado com outros modelos existentes na literatura e para o tráfego urbano em João Pessoa, poderá auxiliar no planejamento de vias e rodovias em zonas urbanas. Ficou constatado que a introdução de sonorizadores Padrão brasileiro nas vias provoca uma elevação do nível de pressão sonora de no mínimo 6 dB(A) para o entorno do local onde venha a ser instalado.

Como o nível de pressão sonora equivalente do tráfego nas avenidas urbanas são superiores aos níveis critérios adotados pelas normas ambientais para determinados horários

---

onde o fluxo de veículos é mais intenso, o RIRU é uma ferramenta que permite não só identificar o nível de pressão sonora equivalente do tráfego, bem como o incremento em dB(A) decorrente da instalação dos sonorizadores. Quando a geometria do entorno da via permitir, os planejadores podem fazer uso das distâncias para edificações lindeiras apresentadas neste estudo como forma de garantir a qualidade sonora prevista nas normas ambientais.

O modelo desenvolvido neste estudo pode ser aperfeiçoado, juntamente com as distâncias calculadas dos sonorizadores para as edificações lindeiras apresentam-se como ferramentas a serem empregadas pelos gestores de tráfego para planejar novas vias ou adotar medidas de prevenção de acidentes nas existentes sem causar alterações da qualidade sonora do ambiente com a utilização dos sonorizadores.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8433. Ruído Emitido por Veículos Automotores em Aceleração: Método de Ensaio. Publicação Periódica Científica: Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10152. Dispõe sobre Níveis de ruído para conforto acústico. Publicação Periódica Científica: Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10151. Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Publicação Periódica Científica: Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2000. Incorpora a Errata nº1 de Jun 2003.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15145. Acústica - Medição de ruído emitido por veículos rodoviários automotores em aceleração - Método de engenharia. Publicação Periódica Científica: Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRITO, Luiz Antonio P. F. de. Metodologia para estimativa do ruído de tráfego: Aspectos práticos e de precisão. X Encontro Nacional e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Natal, Brasil, 2009. 146-155p.

BRASIL. Lei Federal nº 9.503 de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Coleção de leis da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2000.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº 01, de 08 de março de 1990 – Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. Coleção de leis da República Federativa do Brasil, IBAMA, Brasília, DF. 2000.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução do nº 02 de 08 de março de 1990. Dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora. Coleção de leis da República Federativa do Brasil, IBAMA, Brasília, DF. 2000.

---

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. Resolução nº 39 de 21 de maio de 1998 – Estabelece os padrões e critérios para a instalação de ondulações transversais e sonorizadores nas vias públicas disciplinados pelo Parágrafo único do art. 94 do Código de Trânsito Brasileiro. Departamento Nacional de Trânsito. Revoga as Resoluções do CONTRAN nº 567/80 e nº 635/84. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm>. Acesso em 22/04/2011.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. Resolução nº 335 de 24 de novembro de 2009. Estabelece os requisitos necessários à coordenação do sistema de arrecadação de multas de trânsito e a implantação do sistema informatizado de controle da arrecadação dos recursos do Fundo Nacional de Segurança e Educação de Trânsito – FUNSET. Departamento Nacional de Trânsito. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm>. Acesso em 12/04/2011.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas e Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. Glossário de Termos Técnicos Rodoviário. Rio de Janeiro, 1997. 296 p.

CALIXTO, Alfredo. DINIZ, Fabiano Belisário. ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. Modelamento matemático da emissão sonora em rodovias federais que adentram áreas urbanas. Revista de Acústica, Curitiba, Brasil, v. 34, n. 1 e 2, p. 22-30, 2003.

CALIXTO, Alfredo. ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta; DINIZ, Fabiano Belisário; BARBOSA, Wiliam Alves. Uma Pesquisa Social do Incômodo Provocado pelo Ruído Urbano em Curitiba, Anais da 9ª. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Pesquisadores Nikeis, pp. 346. 2001.

CALIXTO, Alfredo. O ruído gerado pelo tráfego de veículos em “rodovias-grandes avenidas” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisado sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental. 2002. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), UFPR. Curitiba, 2002.

CORKLE, Jacqueline. MARTI, Michael. MONTEBELLO, David. Synthesis on The Effectiveness of Rumble Strips. Minnesota Department of Transportation. October 2001-2002).

CARLSON, Paul J. MILES, Jeff D. Effectiveness of rumble strips on Texas Highways first year report. Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration. Texas A&M University, Texas, 2003.

---

ÇELENK, E. *et al.* Ankara city traffic impact assessment study. ESRI International User Conference. U. S. Califórnia. 1997.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Manual on Uniform Traffic Control Devices – MUTCD. Federal Highway Administration – FHWA. Edição 2009. Disponível em: [http://mutcd.fhwa.dot.gov/kno\\_2009.htm](http://mutcd.fhwa.dot.gov/kno_2009.htm). Acesso em 02/10/2011.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Safety FHWA. Federal Highway Administration. Disponível em: <<http://www.safety.fhwa.dot.gov>> Acesso em: 22/07/2010.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Crash Impact of Smooth Lane Narrowing with Rumble Strips at Two-Lane Rural Stop-Controlled Intersections. Tech Brief. Federal Highway Administration. FHWA Publication No.: FHWA-HRT-10-047, 2010.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. National Cooperative Highway Research Program - NCHRP report 500. Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan. Volume 23, U.S.Washington. 2009.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Washington State Departament of Transportation - WSDOT. What are Rumble Strip?. U.S.Washington. 2010. Disponível em: <<http://wadot.wa.gov/Design/Policy/RumbleStrips.htm>> Acesso em: julho de 2010.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Maryland State Highway Administration Office of Traffic and Safety – SHA. Use of Temporary Transverse Rumble Strips in Work Zones. Page 1 of 9, 2005.

FONTAINE, Michael D. CALSON, Paul J. Evaluation of speed displays and rumble strips at rural-maintenance work zones. **Transportation Research Record**, Texas, v. 1745, n. 01-2261. p. 27-38, 2001.

HIGGINS, Jonhn S; BARBEL, William. Rumble Strip Noise. **Transportation Research Record**, v. 983. p. 27-36, 1984.

---

HMSO - Her Majesty's Stationery Office. Calculation of Road Traffic Noise. Department of Transport. London, 1988. 94 p.. Apud Brito (2009).

HIRASAWA, Masayuki. SAITO, Kazuo. Study on development ad practical use of rumble strips as a new measure for highway safety. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 3697 - 3712, 2005.

KINSLER, L. E. *et al.* Fundamentals of acoustics (3<sup>a</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc.: New York.1982. 480 p.

KINSLER, Lawrence E. FREY, Austin S. COPPENS, Allan B. SANDERS, James V. Fundamentals of Acoustics.4 th ed.: John Wiley & Sons, Inc. United States of America. 2000.

MAIA, Paulo Alves. **Estimativas de exposições não contínuas a ruído.** São Paulo: FUNDACENTRO, 2002.

MEHTA, Madan. JOHNSON, James. ROCAFORT, Jorge. Architectural acoustics: Principles and design. Columbus: Prentice Hall, 1999, 446 p.

MEYER, Eric. Evaluation of orange removable rumble strip for highway work zones. Transportation Research Record, v. 1715, n. 1496. p. 36-42, 2000.

MELO, Ricardo Almeida; PIMENTEL, Roberto Leal; SILVA, Wekisley Monteiro da, e LACERDA, Diego Meira de, Previsão do nível de ruído gerado pelo tráfego de veículos na cidade de João Pessoa, Brasil. XVI PANAM, Lisboa, Portugal, 2010.

NUNES, Maria Fernanda de Oliveira. Poluição Sonora em Centros Urbanos: o Ruído de Trafego veicular. Artigo de revisão, UNICRUZ. 1999.

PAMANIKABUD, Pichai. VIVITJINDA, Prakob. Noise prediction for highways in Thailand. Elsevier Science. Transportation Research Part D 7 (2002). 441–449p.

---

RADALJ, Tony. KIDD, Brian. A Trial with Rumble Strips as a Means of Alerting Drivers to Hazards at Approaches to Passively Protected Railway Level Crossings on High Speed. Western Australian Rural Roads. 2003. Disponível em: <http://www.rsconference.com/pdf/RS050082>. Acesso em. 21/04/2011.

RECUERO, M.; GIL, C.; GRUNDMAN, J. Effects of Traffic Noise Within the Madrid Region. Fifth International Congress on Sound and Vibration. 1987, Adelaide, Austrália.

RIOS, Ana Lúcia. Efeito tardio do ruído na audição e na qualidade do sono em indivíduos expostos a níveis elevados. Dissertação. (Mestrado em Clínica Médica) Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, USP, 2003.

ROLIM, Ieure Amaral. Análise dos impactos ambientais causados pelo tráfego de veículos automotivos com emissão de ruído em seus efeitos na qualidade de vida urbana. Monografia (Pós-graduação Lato Sensu em Direito Ambiental) UNICASTELO, São Paulo, 2010.

SPECHT, Luciano Pivoto; CALLAI, Sérgio C.; KHATCHATORIAN, Oleg A.; KOHLER, Raquel. Avaliação do ruído através do spbi (*statistical pass-by index*) em diferentes pavimentos. Rev. Esc. Minas, vol.62 no.4. Ouro Preto, Oct./Dec. 2009.

STEELE, Campbell. A critical review of some traffic noise prediction models. Elsevier Science. Applied Acoustics 62. 2001. 271- 287p.

TANSATCHA, M. PAMANIKABUD, P. BROWN, A. L. AFFUM, J.K. Motorway noise modelling based on perpendicular propagation analysis of traffic noise. Elsevier Science, Applied Acoustics 66. 2005. 1135–1150p.

TEDESCO, Tatiana Gomes. Avaliação do uso de guias sonoras como medida na redução de acidentes nas rodovias do Rio Grande do Sul. 2004. 104 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia), UFRGS, Rio Grande do Sul, 2004.

TRIOLA, Mario F. Introdução à estatística. Tradução Vera Regina Lima de Farias e Flores; Revisão técnica Ana Maria Lima de Farias. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

---

UNIÃO EUROPÉIA. Norma IEC 60. 651 - International Electrotechnical Commission. – Sound level meters. Disciplina a operação dos sonômetros e a respectiva escala de aplicação. 1979.

UNIÃO EUROPÉIA. Norma IEC 61.672 - International Electrotechnical Commission. Electroacoustics – *Sound level meters* – Part 2: Pattern evaluation tests. Altera a Norma IEC 60651 que disciplina a operação dos sonômetros e a respectiva escala de aplicação. 2003.

UNIÃO EUROPÉIA. Conférence Européenne des Directeurs des Routes - CEDR. Shoulder e Median Rumble Strips. Practices in CEDR member states and relevant literature. CEDR report 2009/10.3 TG Road Safety / Rumble Strips Report. 2010.

ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta. CALIXTO, Alfredo. DINIZ, Fabiano Belisário, FERREIRA, José Augusto. SCHUHLI, Rafael Bregenski. Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba, PR. Rev Saúde Pública, 2002; 36(4):521-4.