

# Obtenção de Modelo Matemático para a Avaliação do Ruído de Tráfego em Belém-PA

ALENCAR, W.L.\*; OLIVEIRA, C. R.\*; QUIXABA, G. S.\*; BRAGA NETO, G. A. N.\*; SETÚBAL, F. A. N.\*; MELO, G. S. V.\*; SOEIRO, N.S.\*

\*Instituto Federal do Pará, Belém, PA, wilson.alencar@ifpa.edu.br

+Grupo de Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, caiane-

ribeiro@hotmail.com, gjsmqgabrielsoares@gmail.com, gerardo-nogueira@hotmail.com, fabioans@ufpa.br, gmelo@ufpa.br,

nsoeiro@ufpa.br

## Resumo

Com a rápida e, muitas vezes desorganizada, expansão das cidades brasileira, a poluição sonora se tornou cada vez mais presente na vida dos cidadãos. Neste cenário, pode-se destacar o aumento do tráfego veicular como fator agravante, tornando necessário o desenvolvimento de estudos para análise de ruído. Assim, tomando como objeto de estudo uma movimentada avenida de Belém-PA, selecionou-se 6 pontos para medição dos níveis estatísticos ( $L_{10}$ ,  $L_{50}$  e  $L_{90}$ ) e do nível equivalente de pressão sonora ( $L_{eq}$ ), para o desenvolvimento de modelos matemáticos para predição destes níveis de pressão sonora, a partir da utilização das técnicas estatísticas de regressão linear, e análise da validade destes modelos para outras vias do município. Concluiu-se que os modelos obtidos apresentaram boa precisão, conseguindo até representar satisfatoriamente outras vias que mantêm um padrão semelhante ao da via em foco.

**Palavras-chave:** Ruído de tráfego, modelos matemáticos, níveis estatísticos, nível equivalente de ruído

## 1. Introdução

O Ruído produzido pelo tráfego rodoviário é a fonte mais significativa de poluição sonora ambiental nas cidades. A Organização Mundial de Saúde (WHO, 2010) exalta que a poluição sonora é hoje, depois da poluição da água, o problema ambiental que afeta o maior número de pessoas no mundo.

O ruído é um dos agentes prejudiciais para a cidadania; portanto, muitos países introduziram limites de emissão sonora para veículos e emitiram outras legislações para reduzir ruído do tráfego rodoviário (ABBASPOUR *et al.*, 2006; STEFANO, 2001; MANSOURI *et al.*, 2006).

Para solucionar problemas relacionados ao ruído, torna-se necessária a identificação e caracterização da fonte que o emite, para permitir a modelagem da situação e estabelecer alterações nos componentes de estudo, que se definem como a fonte, o receptor e o meio que une ambos.

O reconhecimento de ruído do tráfego rodoviário como uma das principais fontes de poluição ambiental tem demandado o desenvolvimento de modelos matemáticos que nos permitam prever o nível de pressão sonora especificados em termos de  $L_{Aeq}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  e  $L_{90}$ , níveis estes quantificados a partir do monitoramento do tráfego rodoviário (STEELE, 2001).

Segundo Bistafa (2011), o nível estatístico  $L_{90}$  representa o nível de pressão sonora que foi

excedido em 90% do tempo de medição, o  $L_{10}$  é o nível de pressão sonora que foi excedido em 10% do tempo e o  $L_{50}$ , o nível de pressão sonora excedido em 50% do tempo de medição. Por outro lado, o nível equivalente  $L_{Aeq}$ , é definido como sendo o nível de pressão sonora estacionário, na escala dB(A), que ocorre durante o intervalo de registro e que geraria a mesma energia sonora produzida pelos eventos sonoros registrados.

Vários são os parâmetros de tráfego que apresentam correlação direta ou inversa com a geração dos níveis de ruído de tráfego. Os principais são: o volume de tráfego, a composição do tráfego, a velocidade dos veículos, o gradiente da pista e a distância da fonte ao receptor (GARCÍA & FAUS, 1991; SATTler, 1999; GOLEBIEWSKI *et al.*, 2003; GOLMOHAMMADI *et al.*, 2007; CALIXTO *et al.*, 2008).

Para o presente trabalho, tem-se como objeto de estudo a cidade de Belém-PA, que por ser formada por corredores de tráfego de intensa movimentação de veículos, onde o número de veículos nas ruas se elevou em 48% (DENATRAN), entre abril dos anos de 2010 e 2015. Todo esse crescimento urbano produz um impacto imediato: engarrafamentos das vias e estresse de motoristas e pedestres, além do aumento vertiginoso do ruído de tráfego, principalmente em horários de maior fluxo. Com esta problemática, revela-se a necessidade de adotar estratégias de estudo e gestão voltadas a melhor qualidade de vida da população.

Para isto, escolheu-se uma via em sentido único, onde a velocidade máxima permitida é de 50 km/h, sendo realizadas medições dos níveis estatísticos ( $L_{90}$ ,  $L_{50}$  e  $L_{10}$ ) e do nível equivalente ( $L_{Aeq}$ ) de pressão sonora, aplicou-se os resultados para a elaboração de modelos de predição dos níveis de ruído do tráfego a partir das características da via e verificou-se a aplicabilidade de tais modelos em outras vias da cidade de Belém, que em alguns casos apresentava características diferentes da via em foco.

## 2. Metodologia

A partir de uma revisão bibliográfica realizada no que concerne a avaliação do ruído de tráfego, destacou-se entre os vários modelos desenvolvidos nas últimas décadas para a predição dos níveis de ruído de tráfego, os desenvolvidos por Bolt *et al.* (1952), por Griffiths e Langdon (1968), Galloway *et al.* (1969), Burguess (1977), CSTB (1991), Calixto (2002) e Silva e Goldner (2004).

Objetivando dar continuidade ao trabalho desenvolvido por Oliveira *et al.* (2015), que aplicou na avenida José Malcher os modelos matemáticos acima citados e verificou a eficiência destes neste caso particular, notando a necessidade de desenvolver-se um modelo próprio à esta via e, uma vez que não existem no Brasil normas que determinem os procedimentos para predição dos níveis de ruído de tráfego gerados em rodovias e avenidas, estabeleceu-se a metodologia descrita a seguir que foi utilizada para compor este trabalho.

### 2.1 Caracterização do Espaço Amostral

Em Belém do Pará, uma das vias mais antigas de tráfego intenso é a avenida Governador José Malcher, que une a principal via de acesso da cidade (Av. Almirante Barroso) ao centro comercial e histórico.

Tendo em vista a existência de muitas variáveis no processo de análise de ruído, tornou-se necessário que na escolha dos locais de medições fossem encontradas grandes semelhanças em relação ao:

- Tipo e condições da pavimentação;
- Trecho considerado: trajetória e inclinação longitudinal;
- Comportamento do tráfego quanto à velocidade e aceleração;
- Características dos arredores da via.

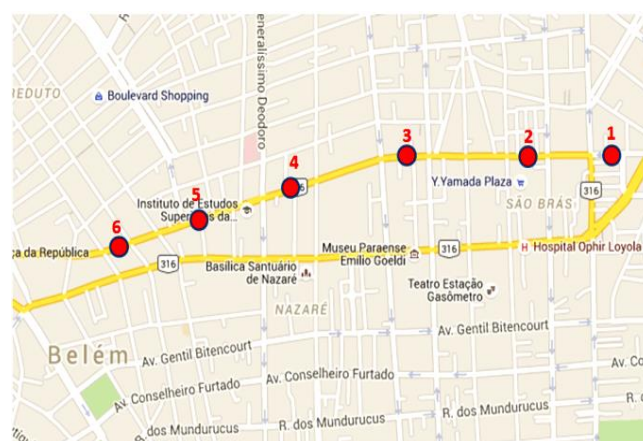
Buscou-se então, utilizar um procedimento que pudesse permitir a melhor caracterização do ruído na via selecionada, a qual apresenta uma geometria diferenciada ao longo de sua extensão. Observando esta característica da avenida optou-se por dividi-la

em seis zonas distintas (cada uma representando um trecho da via que possui características semelhantes) e em cada zona realizou-se as medições em um único ponto.

A avenida e a disposição dos pontos de medição podem ser observadas na Fig.1., sendo a identificação dos pontos conforme descrito abaixo:

- Ponto 1 – entre Av. Almirante Barroso e Av. José Bonifácio;
- Ponto 2 – entre Tv. Francisco Caldeira Castelo Branco e Tv. 14 de Abril;
- Ponto 3 – entre Tv. 09 de Janeiro e Av. Alcindo Cacela;
- Ponto 4 – entre Tv. 14 de Março e Av. Generalíssimo Deodoro;
- Ponto 5 – Av. Almirante Wandenkolke Av. Visconde de Souza Franco;
- Ponto 6 – entre Tv. Rui Barbosa e Tv. Benjamin Constant.

**Figura 1** :Mapa da Av. José Malcher e disposição dos pontos de medição.



Fonte: Google Maps.

### 2.2 Medição do Ruído e Caracterização do Tráfego de Veículos

Uma vez definido os padrões de cada zona que compõe a via, as variáveis de entrada no modelo desenvolvido, se resumiram ao fluxo, a composição do tráfego e a geometria da via, e as variáveis de saída, aos níveis de pressão sonora.

Para obter o nível de ruído foi utilizado o medidor do Nível de Pressão Sonora da marca 01dB, modelo Blue Solo, sendo colocado equidistante aos cruzamentos anterior e posterior ao ponto escolhido, como forma de reduzir a captação do ruído ocasionado pela aceleração após a abertura do semáforo, e sempre a 1,5 m do meio fio da via, como ilustra a Fig.2. O medidor foi posicionado a uma distância de 1,2 m do solo e a 2 m do limite da propriedade e de quaisquer outras superfícies refletoras, segundo a NBR 10.151 (ABNT, 2000).

**Figura 2:** Medidor do Nível de Pressão Sonora Blue Solo 1,0 dB posicionado em um ponto de medição.



Fonte: Próprio Autor

Em cada ponto, foram realizadas 90 medições, com duração de 2 min no intervalo das 7 às 19h, compreendendo dias de terça, quarta e quinta-feira. Em todas as medições, o medidor foi ajustado no modo de resposta “fast”, sendo os valores medidos expressos em dB(A).

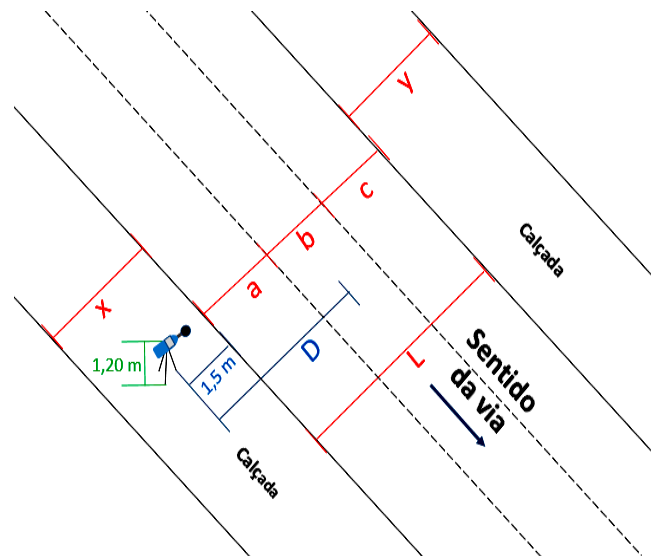
A contagem da quantidade de automóveis, motocicletas, caminhões e ônibus que passavam pelo observador durante os intervalos de tempo de 2 min, foram realizadas por contagem direta dos veículos e transferidas as quantidades para uma planilha junto aos níveis de ruído. Classificamos os veículos em leves e pesados, segundo o CONTRAN (2010), considerando veículos leves (VL): correspondendo a ciclomotor, motoneta, motocicleta, triciclo, quadriciclo, automóvel utilitário, caminhonete e camioneta; veículos pesados (VP): ônibus, microônibus, caminhão, caminhão-trator, trator de rodas, trator misto, chassi-plataforma, motor-casa, reboque ou semireboque e suas combinações.

Devido ao fato da geometria da via apresentar dimensões diferentes ao longo de sua extensão, a distância do medidor até o centro desta é diferente em cada um dos pontos estudados. A representação das características geométricas dos pontos de medição pode ser representada pela Fig.3 e a Tabela 1, onde:

- x: largura da calçada à direita da via;
- y: largura da calçada à esquerda da via;
- a: largura da faixa 1;
- b: largura da faixa 2;
- c: largura da faixa 3;
- D: distância do receptor ao centro da via

- L: largura da via.

**Figura 3:** Representação das características geométricas dos pontos de medição



Fonte: Autoria própria

**Tabela 1:** Valores em metros das características geométricas dos pontos de medição.

Ponto	x	y	a	b	c	D	L
1	4,10	12,00	5,40	3,50	3,50	7,70	12,40
2	6,40	6,60	5,00	3,00	3,00	7,00	11,00
3	6,40	6,60	4,20	2,50	2,50	6,10	9,20
4	5,40	5,20	2,80	2,55	2,55	5,45	7,90
5	5,80	4,50	3,10	2,70	2,70	5,75	8,50
6	4,40	5,20	3,90	3,60	0,00	4,75	7,50

### 2.3 Obtenção do Modelo Matemático

A partir de uma análise estatística dos dados das medições realizadas nas seis zonas estudadas, utilizou-se uma metodologia de regressão linear para obtenção dos modelos matemáticos para predição dos níveis estatísticos ( $L_{10}$ ,  $L_{50}$  e  $L_{90}$ ) e do nível equivalente de ruído. Para isto, obteve-se os coeficientes de correlação entre as variáveis observadas e os níveis de pressão sonora medidos, para escolher quais são as que mais influenciam e empregá-las na elaboração dos modelos. A Tabela 2 apresenta os coeficientes de correlação encontrados.

**Tabela 2:** Coeficientes de correlação entre as variáveis observadas e os níveis de pressão sonora da Av. José Malcher.

	VP	VL	$L_{eq}$	$L_{10}$	$L_{50}$	$L_{90}$	Q/h	%V P
VL	0,2 4							
$L_{eq}$	0,4 2	0,1 7						
$L_{10}$	0,4 9	0,1 7	0,9 1					
$L_{50}$	0,4 5	0,2 0	0,8 1	0,7 7				
$L_{90}$	0,3 6	0,2 2	0,4 8	0,4 3	0,6 6			
Q/h	0,4 6	0,9 7	0,2 5	0,2 8	0,2 9	0,2 9		
%V P	0,8 5	0,2 5	0,3 3	0,4 0	0,3 6	0,2 7	0,0 3	
d	0,2 6	0,1 8	0,1 1	0,0 4	0,1 1	0,4 7	0,2 3	0,2 1

Onde VL é a quantidade de veículos leves, VP é a quantidade de veículos pesados, Q é o fluxo veicular por hora, %VP é a porcentagem de veículos pesados e d é a distância do aparelho de medição ao centro da via.

Como busca-se modelos gerais para via, considerou-se os fatores que influenciavam ambos os níveis de pressão sonora e que simplificasse a utilização dos modelos desenvolvidos. Neste caso, destacaram-se Q, %VP e d, os quais foram admitidos como variáveis para os modelos desenvolvidos. Primeiro, ajustou-se a curva de dados considerando o fluxo de veículos por hora e observando como este parâmetro influenciou nos níveis de pressão sonora. Verificou-se, então, a influência do Q e da porcentagem de veículos pesados nos níveis de pressão sonora, notando um aperfeiçoamento dos modelos desenvolvidos. Por fim, considerou-se a influência do Q, da %VP e também da d, onde obteve-se os melhores resultados, comparando o níveis de pressão sonora medidos e os calculados pelos modelos, encerrando o processo de otimização dos modelos matemáticos.

### 3. Resultados e Discussões

As médias dos valores coletados durante as medições encontram-se na Tabela 3. As amostras apresentam distribuição padrão (Gaussiana), então durante o tratamento de dados, descartou-se aqueles valores muito discrepantes do padrão.

**Tabela 3:** Dados coletados na Av. José Malcher.

Ponto	Q	%V P	$L_{eq}$	$L_{10}$	$L_{50}$	$L_{90}$
1	1970,7	13,4	73	76	70	67
2	1954	15,2	75	79	72	66
3	2140,3	12,5	74	78	71	64
4	2100,3	13	76	80	73	67
5	2259,3	11,9	75	79	71	65
6	1501,3	9,4	73	77	69	61

Assim, seguindo a metodologia descrita acima, obteve-se primeiro os modelos (de uma variável) para predição do  $L_{eq}$ , do  $L_{10}$ , do  $L_{50}$  e do  $L_{90}$ , que são apresentados nas equações 01, 02, 03 e 04, respectivamente. Os resultados de todos os modelos matemáticos desenvolvidos neste trabalho são expressos em dB(A).

$$L_{eq} = 71,89 + 0,00144 \cdot Q \quad [\text{Eq. 01}]$$

$$L_{10} = 74,865 + 0,001581 \cdot Q \quad [\text{Eq. 02}]$$

$$L_{50} = 67,79 + 0,001641 \cdot Q \quad [\text{Eq. 03}]$$

$$L_{90} = 60,278 + 0,002394 \cdot Q \quad [\text{Eq. 04}]$$

Os modelos de duas variáveis para predição dos níveis de ruído da via, são apresentados nas equações 05, 06, 07 e 08.

$$L_{eq} = 69,711 + 0,001491 \cdot Q + 0,1693 \cdot (\%VP) \quad [\text{Eq. 05}]$$

$$L_{10} = 72,212 + 0,001699 \cdot Q + 0,207 \cdot (\%VP) \quad [\text{Eq. 06}]$$

$$L_{50} = 65,438 + 0,001699 \cdot Q + 0,1824 \cdot (\%VP) \quad [\text{Eq. 07}]$$

$$L_{90} = 57,649 + 0,002455 \cdot Q + 0,2043 \cdot (\%VP) \quad [\text{Eq. 08}]$$

E por fim, os modelos desenvolvidos com três variáveis, para predição do nível equivalente e dos

níveis estatísticos, são apresentados nas equações 09, 10, 11 e 12.

$$L_{eq} = 71,17 + 0,001702 \cdot Q + 0,1861 \cdot (\%VP) - 0,0893 \cdot d \quad [\text{Eq. 09}]$$

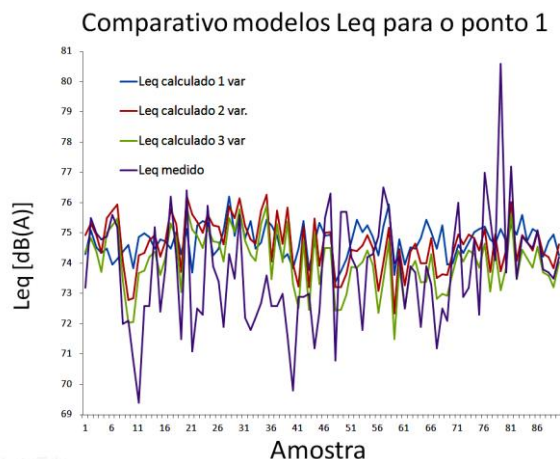
$$L_{10} = 73,828 + 0,001870 \cdot Q + 0,2255 \cdot (\%VP) - 0,3779 \cdot d \quad [\text{Eq. 10}]$$

$$L_{50} = 65,815 + 0,001755 \cdot Q + 0,1868 \cdot (\%VP) - 0,0893 \cdot d \quad [\text{Eq. 11}]$$

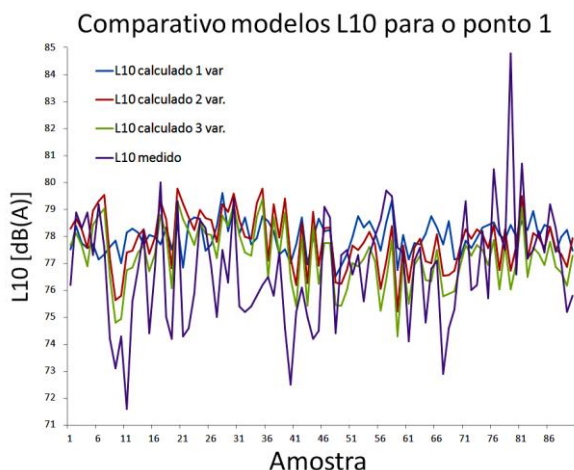
$$L_{90} = 52,425 + 0,001704 \cdot Q + 0,1444 \cdot (\%VP) + 1,224 \cdot d \quad [\text{Eq. 12}]$$

Os gráficos abaixo (Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6 e Fig. 7), ilustram as comparações entres os valores medidos no primeiro ponto da Av. José Malcher, do nível equivalente e dos níveis estatísticos de pressão sonora, com os resultados obtidos através dos modelos matemáticos desenvolvidos para uma, duas e três variáveis.

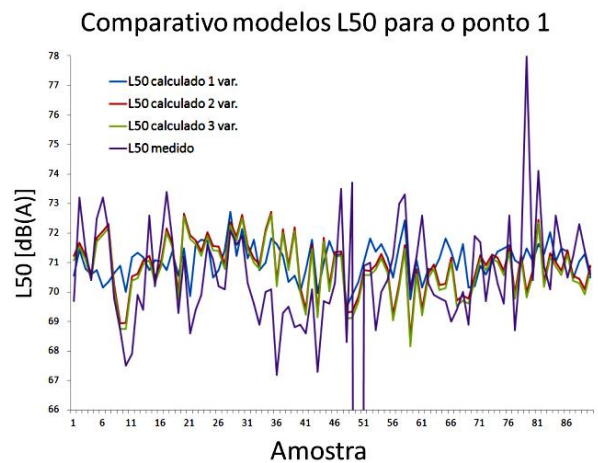
**Figura 4:** Distribuição do nível equivalente de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) no ponto de medição 1 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



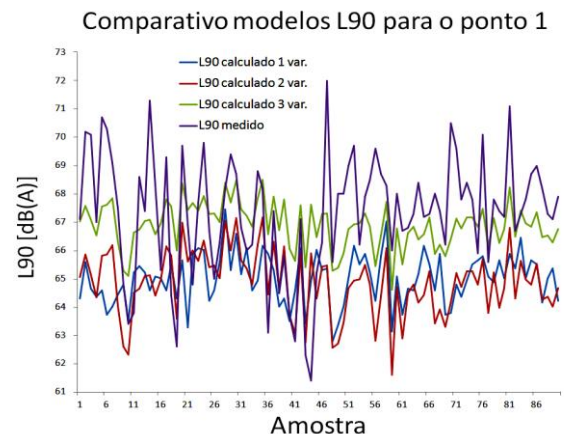
**Figura 5:** Distribuição do nível estatístico  $L_{10}$  no ponto de medição 1 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



**Figura 6:** Distribuição do nível estatístico  $L_{50}$  no ponto de medição 1 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



**Figura 7:** Distribuição do nível estatístico  $L_{90}$  no ponto de medição 1 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



A Média e o Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado para cada modelo no ponto 1 encontram-se na Tabela 4.

Na predição do  $L_{eq}$  pode-se notar maior precisão utilizando o modelo de três variáveis, visto que o nível equivalente de pressão sonora é influenciado diretamente tanto pelo fluxo de veículos, quanto pela composição do tráfego e a distância do medidor até o centro da via, visto que este tem como função representar a energia sonora produzida pelo evento e estes são os fatores que apresentam maiores coeficientes de correlação.

Na predição do  $L_{10}$ , observa-se que o modelo desenvolvido com três variáveis continua sendo o mais preciso, visto que este nível estatístico ressalta os valores de pico e o fator que mais colabora com a elevação dos níveis de pressão sonora são a porcentagem de veículos pesados e o fluxo veicular, enquanto a distância do centro da via até o medido colabora com a melhor representação da situação real.

**Tabela 4:** Média e Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado no ponto 1

Comparação dos Valores no Ponto 1		
	Média das Diferenças do valor medido pelo valor calculado	Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado
Leq 1 var.	-1,01847	1,733643
Leq 2 var.	-0,89713	1,778065
Leq 3 var.	-0,33259	1,798337
L10 1 var.	-1,23228	2,005975
L10 2 var.	-1,08705	2,022231
L10 3 var.	-0,46329	2,040694
L50 1 var.	-0,12168	0,671207
L50 2 var.	0,364952	0,869252
L50 3 var.	0,519792	0,875187
L90 1 var.	2,775173	0,61647
L90 2 var.	3,322878	0,838209
L90 3 var.	1,219613	0,757644

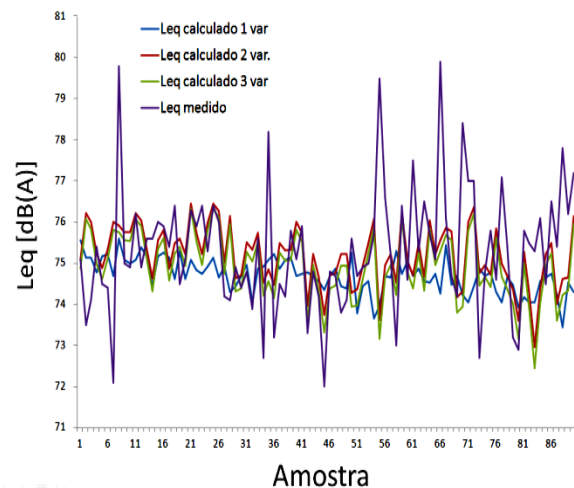
Na predição do  $L_{50}$ , observa-se que o modelo desenvolvido com uma variável está sendo mais preciso.

O gráfico dos valores obtidos para o  $L_{90}$  confirma o quanto a otimização do modelo desenvolvido era necessária, visto que, em todos os casos, o modelo mais preciso foi o de três variáveis. Neste caso, a variável  $d$  não interfere diminuindo o nível de pressão sonora calculado, uma vez que o  $L_{90}$  representa o nível de ruído predominante, que tende a permanecer constante.

Para o segundo ponto de medição da Av. José Malcher, temos os resultados (medidos e calculados) dos níveis de ruído apresentados nos gráficos abaixo (Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10 e Fig. 11), para questão de comparação.

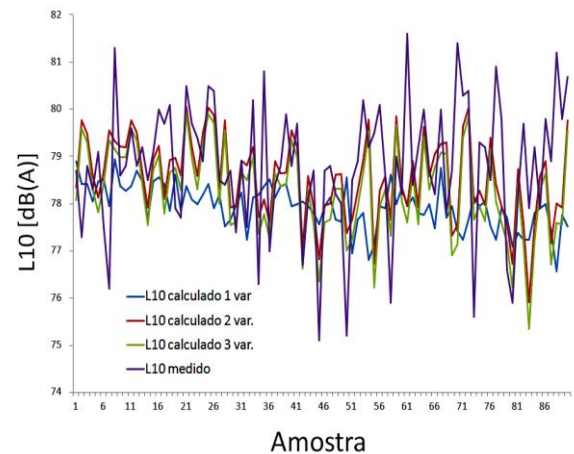
**Figura 8:** Distribuição do nível equivalente de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) no ponto de medição 2 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

Comparativo modelos Leq para o ponto 2

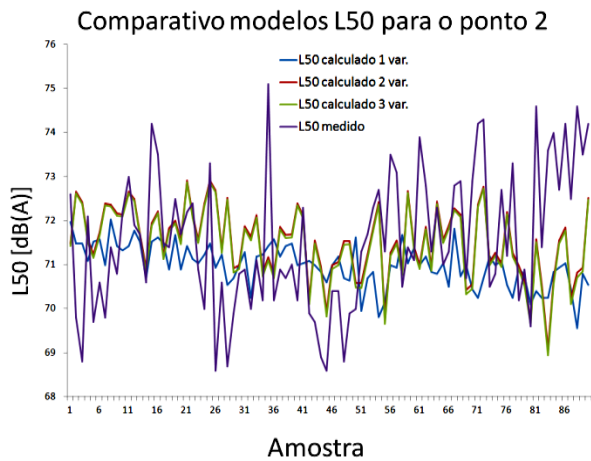


**Figura 9:** Distribuição do nível estatístico  $L_{10}$  no ponto de medição 2 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.

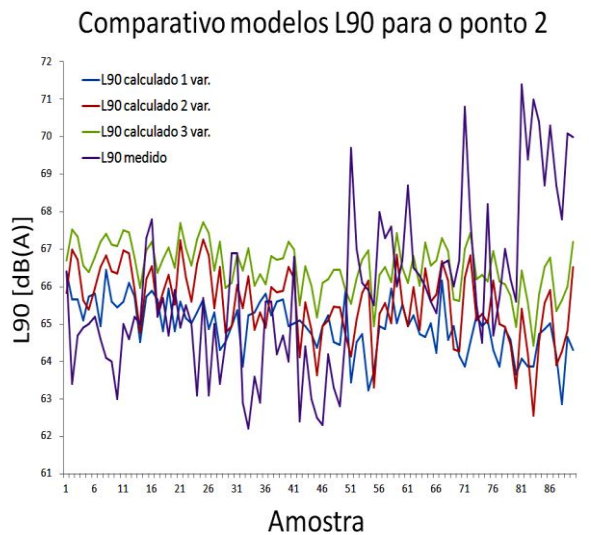
Comparativo modelos L10 para o ponto 2



**Figura 10:** Distribuição do nível estatístico  $L_{50}$  no ponto de medição 2 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



**Figura 11:** Distribuição do nível estatístico  $L_{90}$  no ponto de medição 2 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



A Média e o Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado para cada modelo no ponto 2 encontram-se na Tabela 5.

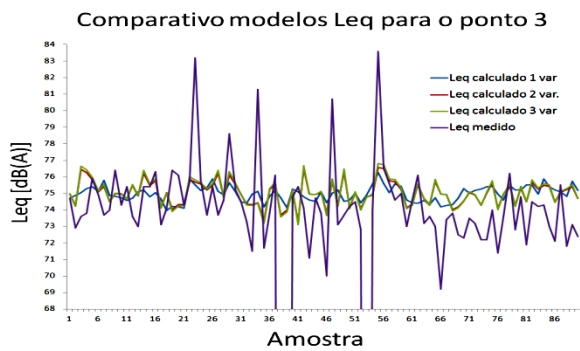
Apesar de algumas características da via se alterarem de um ponto a outro, podemos notar que os modelos matemáticos desenvolvidos continuam apresentando boa precisão, principalmente os modelos com duas e três variáveis, visto que a análise de ruído é influenciada por vários fatores e considerou-se neste caso os fatores predominantes.

Como discutido acima, continuaremos a seguir o mesmo padrão ao analisarmos os demais pontos, como podemos notar nos gráficos a seguir no terceiro (Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14 e Fig. 15), quarto (Fig.16, Fig.17, Fig.18 e Fig.19), quinto (Fig.20, Fig.21, Fig.22 e Fig.23) e sexto (Fig.24, Fig.25, Fig.26 e Fig.27) ponto de medição.

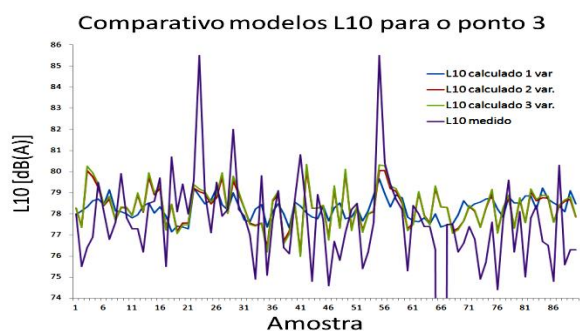
**Tabela 5:** Média e Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado no ponto 2

Comparação dos Valores no Ponto 2			
		Média das Diferenças do valor medido pelo valor calculado	Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado
Leq var.	1	1,2144	1,614614
Leq var.	2	0,52374	1,557079
Leq var.	3	0,739816	1,585905
L10 var.	1	1,491185	1,481213
L10 var.	2	0,644719	1,346972
L10 var.	3	0,883663	1,377442
L50 var.	1	2,139285	1,70652
L50 var.	2	1,393119	1,688254
L50 var.	3	1,451002	1,69645
L90 var.	1	2,85869	2,476265
L90 var.	2	2,025924	2,553361
L90 var.	3	1,247439	2,403287

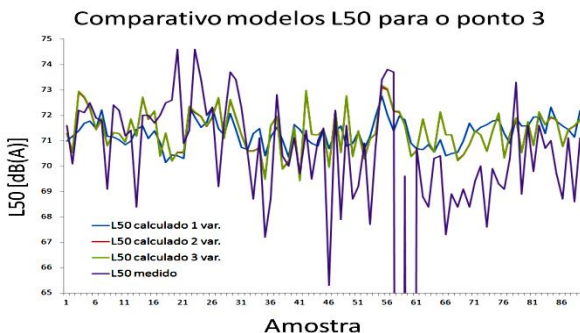
**Figura 12:** Distribuição do nível equivalente de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) no ponto de medição 3 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



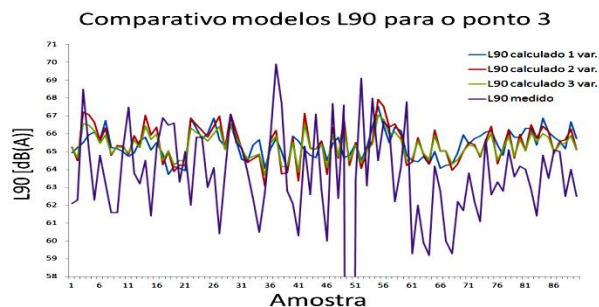
**Figura 13:** Distribuição do nível estatístico  $L_{10}$  no ponto de medição 3 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



**Figura 14:** Distribuição do nível estatístico  $L_{50}$  no ponto de medição 3 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



**Figura 15:** Distribuição do nível estatístico  $L_{90}$  no ponto de medição 3 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



A Média e o Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado para cada modelo no ponto 3 encontram-se na Tabela 6.

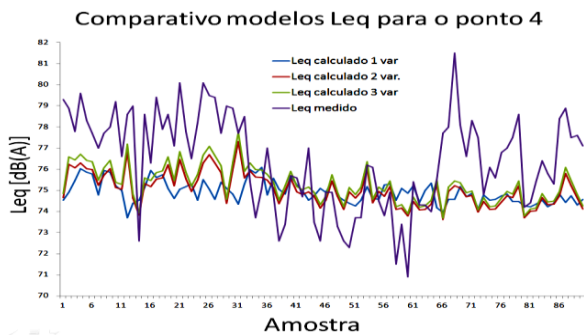
**Tabela 6:** Média e Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado no ponto 3

Comparação dos Valores no Ponto 3			
		Média das Diferenças do valor medido pelo valor calculado	Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado
Leq var.	1	-1,3856	1,962363
Leq var.	2	-1,26621	2,120801
Leq var.	3	-1,27773	2,112375
L10 var.	1	-0,91485	1,956476
L10 var.	2	-0,9275	1,837292
L10 var.	3	2,735486	1,838628
L50 var.	1	-1,21072	1,790933
L50 var.	2	-1,08415	1,59513
L50 var.	3	-1,08559	1,593511
L90 var.	1	-3,04131	2,464316
L90 var.	2	-2,89656	2,359231
L90 var.	3	-2,86005	2,325269

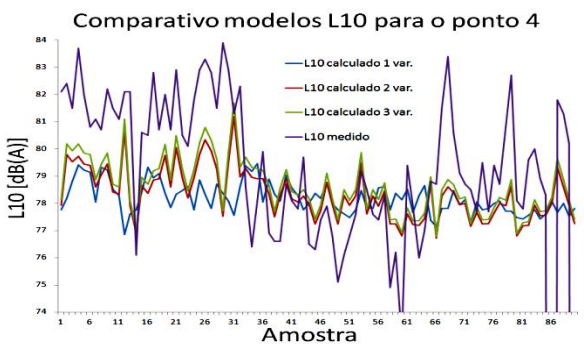
Observando os gráficos obtidos no ponto 3, é perceptível alguns resultados sofrerem uma variação considerável entre os valores medidos e os valores calculados. Estas amostras podem se caracterizar pelo fato de ter apresentado no ponto em questão, momentos de congestionamento durante a medição do ruído. Apesar dessas variações, os modelos obtidos apresentam uma satisfatória confiabilidade.



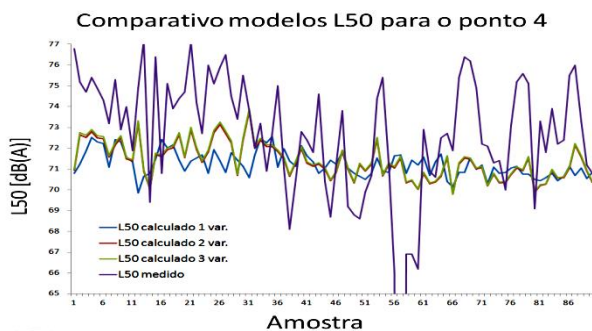
**Figura 16:** Distribuição do nível equivalente de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) no ponto de medição 4 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



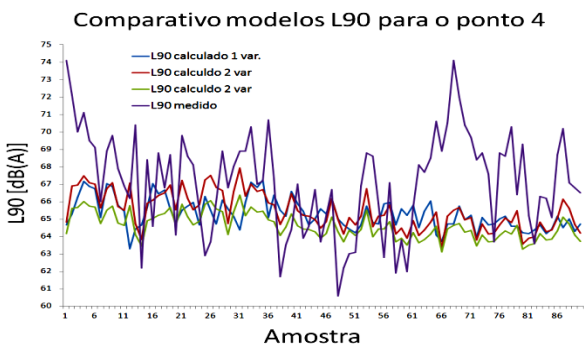
**Figura 17:** Distribuição do nível estatístico  $L_{10}$  no ponto de medição 4 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



**Figura 18:** Distribuição do nível estatístico  $L_{50}$  no ponto de medição 4 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



**Figura 19:** Distribuição do nível estatístico  $L_{90}$  no ponto de medição 4 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



A Média e o Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado para cada modelo no ponto 4 encontram-se na Tabela 7.

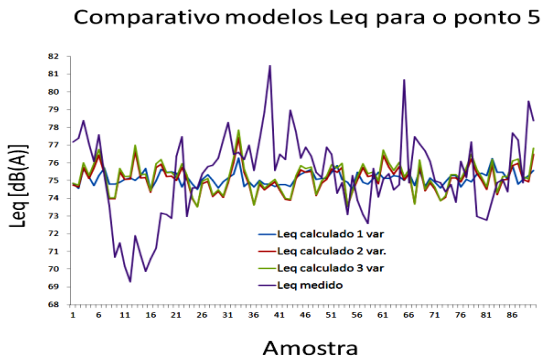
**Tabela 7:** Média e Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado no ponto 4

Comparação dos Valores no Ponto 4			
		Média das Diferenças do valor medido pelo valor calculado	Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado
Leq var.	1	3,6532	1,586182
Leq var.	2	3,808748	1,17577
Leq var.	3	3,651098	1,139412
L10 var.	1	3,165885	1,662953
L10 var.	2	2,836938	1,890716
L10 var.	3	2,735486	1,747242
L50 var.	1	2,982355	4,277452
L50 var.	2	3,148699	3,835347
L50 var.	3	3,109386	3,825841
L90 var.	1	5,60507	5,424796
L90 var.	2	5,793304	4,929526
L90 var.	3	6,353525	5,059186

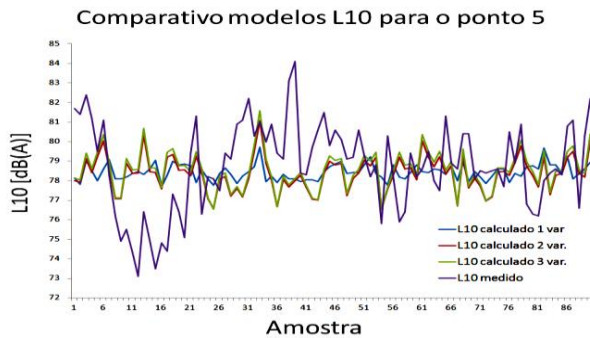
O ponto 4 apresentou uma elevada variação entre os valores medidos e os valores calculados, onde podemos caracterizar o ponto em questão, como sendo o ponto da pesquisa, em que o fluxo apresentou maior lentidão e concentração de

veículos. O ponto apresenta um maior enclausuramento, devido a uma grande quantidade de árvores e edificações, tornando o local mais reverberante. Os modelos obtidos para a via em geral, não conseguem representar tão precisamente esta singularidade.

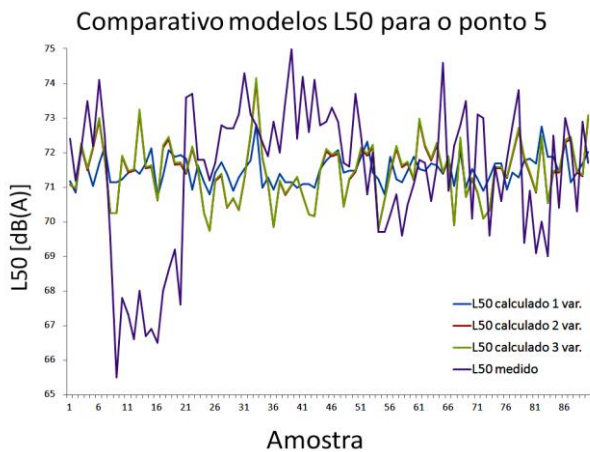
**Figura 20:** Distribuição do nível equivalente de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) no ponto de medição 5 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



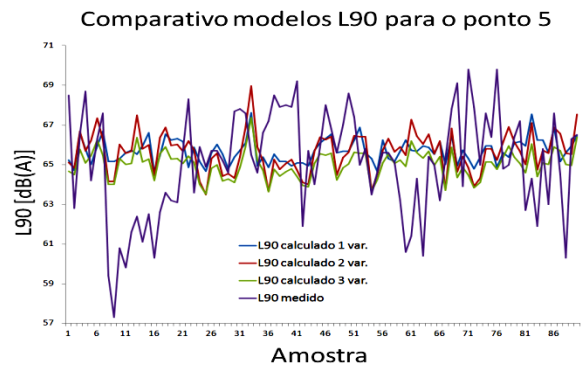
**Figura 21:** Distribuição do nível estatístico  $L_{10}$  no ponto de medição 5 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



**Figura 22:** Distribuição do nível estatístico  $L_{50}$  no ponto de medição 5 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



**Figura 23:** Distribuição do nível estatístico  $L_{90}$  no ponto de medição 5 da Av. José Malcher. Fonte: Autoria própria.



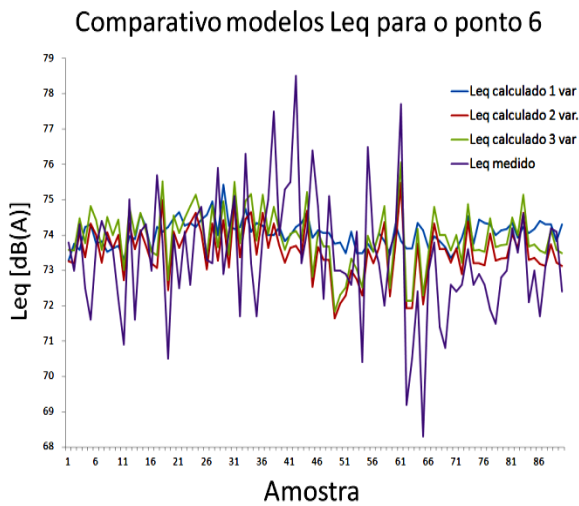
**Tabela 8:** Média e Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado no ponto 5

Comparação dos Valores no Ponto 5			
		Média das Diferenças do valor medido pelo valor calculado	Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado
Leq var.	1	2,562	0,329229
Leq var.	2	2,164522	0,389205
Leq var.	3	1,938694	0,534763
L10 var.	1	3,409175	0,216594
L10 var.	2	2,922092	1,093438
L10 var.	3	2,673359	1,253238
L50 var.	1	0,444675	1,086759
L50 var.	2	0,013736	1,861885
L50 var.	3	-0,04387	1,900273
L90 var.	1	1,65595	2,277549
L90 var.	2	1,177091	3,14431
L90 var.	3	1,978796	2,6258

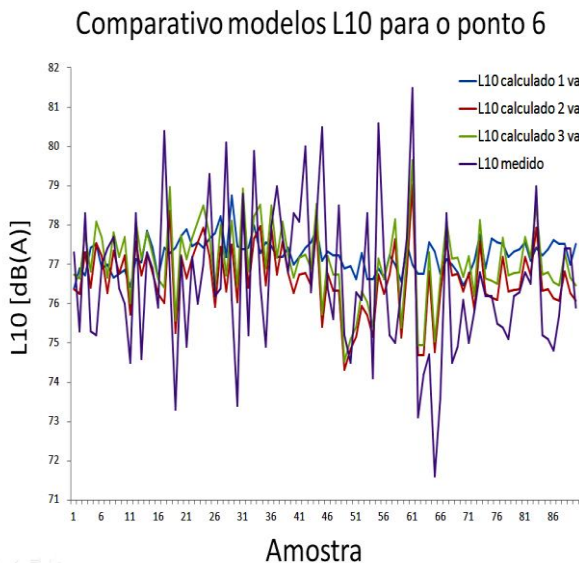
A Média e o Desvio Padrão dasDiferenças do valor medido pelo valor calculado para cada modelo no ponto 5 encontram-se na Tabela 8.

Observando os gráficos obtidos no ponto 5, é perceptível algumas distorções entre os valores medidos e os valores calculados, estas amostras podem se caracterizar pelo fato de ter apresentado no ponto em questão, momentos de congestionamento durante a medição do ruído. Entretanto, os modelos obtidos apresentam resultados satisfatórios, com exceção do modelo do L10 com uma variável.

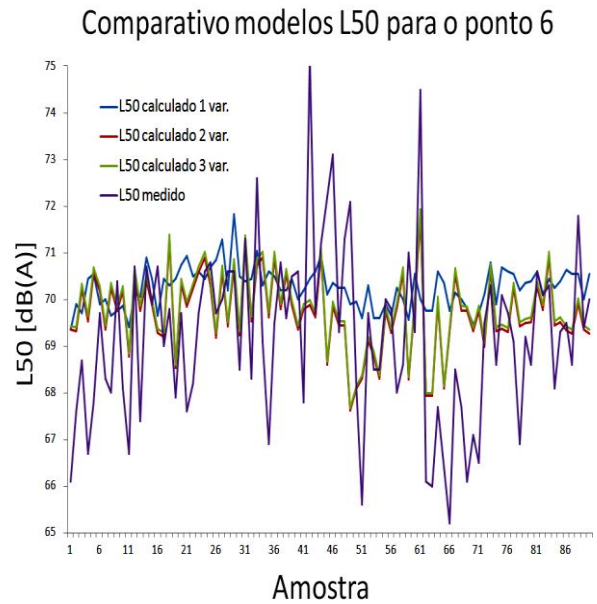
**Figura 24:** Distribuição do nível equivalente de pressão sonora ( $L_{eq}$ ) no ponto de medição 6 da Av. José Malcher.Fonte: Autoria própria.



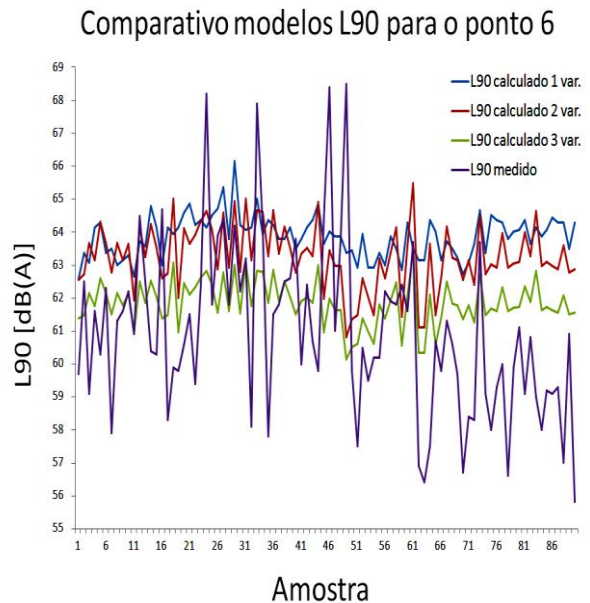
**Figura 25:** Distribuição do nível estatístico  $L_{10}$  no ponto de medição 6 da Av. José Malcher.Fonte: Autoria própria.



**Figura 26:** Distribuição do nível estatístico  $L_{50}$  no ponto de medição 6 da Av. José Malcher.Fonte: Autoria própria.



**Figura 27:** Distribuição do nível estatístico  $L_{90}$  no ponto de medição 6 da Av. José Malcher.Fonte: Autoria própria.



A Média e o Desvio Padrão dasDiferenças do valor medido pelo valor calculado para cada modelo no ponto 6 encontram-se na Tabela 9.

Os modelos obtidos apresentam resultados bastantes satisfatório para o ponto 6, com exceção os modelos do L50.

**Tabela 9:** Média e Desvio Padrão dasDiferenças do valor medido pelo valor calculado no ponto 6

Comparação dos Valores no Ponto 6			
		Média das Diferenças do valor medido pelo valor calculado	Desvio Padrão das Diferenças do valor medido pelo valor calculado
Leq var.	1	0,5276	1,723078
Leq var.	2	0,54139	0,893949
Leq var.	3	0,20973	0,916519
L10 var.	1	0,91724	1,794863
L10 var.	2	0,92706	0,778884
L10 var.	3	0,5586	0,803051
L50 var.	1	-3,26536	1,922256
L50 var.	2	-3,24904	2,813986
L50 var.	3	-3,33295	2,807699
L90 var.	1	-2,87624	3,976542
L90 var.	2	-2,85955	2,975728
L90 var.	3	-1,67384	2,895921

#### 4. Conclusões

Nesse trabalho foram obtidos modelos matemáticos para a predição do nível de pressão sonora e dos níveis estatísticos, com uma, duas e três variáveis, a partir utilização das técnicas estatísticas de regressão linear. Os modelos obtidos produzem resultados suficientemente próximos aos valores medidos.

Os modelos para o cálculo dos níveis  $L_{eq}$  e  $L_{10}$  são mais precisos que os modelos para o cálculo dos níveis  $L_{50}$  e principalmente  $L_{90}$ . O resultado já era esperado pois o fluxo de veículos não é absolutamente contínuo e, portanto, a influência de outras fontes de ruídos é maior sobre o  $L_{50}$  e o  $L_{90}$  do que para  $L_{10}$  e  $L_{eq}$ .

Os modelos que consideram três variáveis, ou seja, o fluxo de veículos, o percentual de veículos pesados e a distância do observador ao centro da via, predizem melhor os níveis do ruído do tráfego do que os modelos que consideram somente o fluxo de veículos e o fluxo de veículos com o percentual de veículos pesados.

Apesar dos resultados satisfatórios, a via estudada apresentou algumas singularidades referentes a tráfego veicular e a paisagem apresentada ao longo da mesma. Ao longo da via, ocorre um aumento na quantidade de árvores e edificações, além do estreitamento da via, o que a torna ainda mais reverberante, principalmente no ponto 4.

Segundo Cowan (1994), o ruído é perceptível ao ouvido humano em variações sonoras de pelo menos 3 dB, e, se tomado como referência o ruído de fundo, esse incremento começa a causar pequenos incômodos às pessoas (MURGEL, 2007). Diante disso, parece razoável admitir nas análises, diferença da ordem de 3 dB(A) entre nível de ruído medido e calculado.

Verificou-se nas medições, que em média, o nível equivalente de emissão do ruído de tráfego medidos na avenida, ultrapassou os limites definidos pela lei nº 7990 de 10 de janeiro de 2000, que limita em 70 dB, em horário diurno e 60 dB, em horário noturno. Com o levantamento feito, é possível prever que a população que reside ou trabalha nessas áreas, sofre os efeitos deste ruído, o que representa riscos à saúde e prejuízo a qualidade de vida. A partir deste problema, deve-se tomar ações para o controle do ruído.

#### Referências

- [1] ABBASPOUR, M.; GOLMOHAMMADI, R.; NASSIRI, P.; MAHJUB, H. An Investigation on Time-Interval Optimization of Traffic Noise Measurement. **Journal of Low Frequency Noise Vibration and Active Control** 25(4), 267-273, 2006.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento: Referências: Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- [3] BELÉM. Prefeitura Municipal. Lei Municipal no 7.990, de 10 de janeiro de 2000. Dispõe sobre o controle e o combate à poluição sonora no âmbito do Município de Belém.. Disponível em:

<[http://www.belem.pa.gov.br/semma/paginas/lei\\_79\\_90.htm](http://www.belem.pa.gov.br/semma/paginas/lei_79_90.htm)>. Acesso em: 16 outubro de 2015.

[4] BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. São Paulo, Bluncher 2011.

[5] BOLT, R. H.; BERANEK, L.; NEWMAN, R. **Handbook of Acoustic Noise Control**. WADC technical report: Wright Air Development Center, 1952.

[6] BURGESS, M. A. Noise Prediction for Urban Traffic Conditions – Related to Measurements in the Sydney Metropolitan Area. **Applied Acoustic** 10, 001-007, 1977.

[7] CALIXTO A.; PULCIDES, C.; ZANNIN, P.H. T. Evaluation of transportation noise in urbanized areas – A case study. **Archives of Acoustics** 33(2), 151-164, 2008.

[8] CALIXTO, A.O Ruído gerado pelo Tráfego de Veículos em ‘Rodovias-Grandes Avenidas’, Situadas Dentro do Perímetro Urbano de Curitiba, Analisados Sobre Parâmetros Acústicos Objetivos e seu Impacto Ambiental. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

[9] CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Resolução Nº 340 de 25 de fevereiro de 2010. Referenda a Deliberação 86 que altera a Resolução CONTRAN nº 146/03, estabelecendo critérios para informação complementar à placa R-19. Ministério das Cidades. Brasília: 2010

[10] COWAN, J. P. Handbook of environmental acoustics. John Wiley & Sons, Inc.: New York, 283 p., 1994

[11] CSTB (Centre Scientifique et Technique du Batiment). Etude théorique et expérimentale de la propagation acoustique. **Revue d'Acoustique**, n.70, 1991.

[12] DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito). Frota de veículos. 2015. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota.htm>>. Acesso em: 18/05/2015.

[13] GALLOWAY, W. J.; CLARK, W. E.; KERRICK, J. S. Urban Highway Noise: Measurement, Simulation and Mixed Reactions. **NCHRP report** 78, 1969.

[14] GARCÍA A.; FAUS L.J. Statistical Analysis of Noise Levels in Urban Areas. **Applied Acoustics**(91), 227-247, 1991.

[15] GOLEBIEWSKI, R.; MAKAREWICK, R.; NOWAK, M.; PREIS, A. Traffic Noise Reduction due the porous Road Surface. **Applied Acoustics** 64, 481-494, 2003.

[16] GOLMOHAMMADI, R.; ABBASPOUR, M.; NASSIRI, P.; MAHJUB, H. Road Traffic Noise Model. **J Res Health Sci** 7(1), 13-17, 2007.

[17] GRIFFITHS, I. D.; LANGDON, F. J. Subjective Response to road traffic noise. **Journal of Sound and Vibration** 8, 16-32, 1968.

[18] MASOURI, N. A.; POUR MAHABADIAN, M.;

GHASEMKHANI, M. Road Traffic Noise in Downtown Area of Tehran. **Iranian Journal Of Environmental Health Science And Engineering** 3(4), 261-266, 2006.

[19] MURGEL, Fundamentos de Acústica Ambiental. Editora SENAC, São Paulo, 2007.

[20] OLIVEIRA, C. R.; ALENCAR, W. L. M.; QUIXABA, G. S.; BRAGA NETO, G. A. N.; SANTOS, W. S.; SOEIRO, N. S. Application of mathematical models in the analysis of traffic noise in the city of Belém, Pará, Brazil. Proceedings. **Anais do 23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering**, 2015. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, 2015.

[21] SATTTLER, M. A. Urban Noise Survey for the City Porto Alegre, Brazil. Proceedings. **137th Meeting of the Acoustical Society of America – Fórum Acusticum**, Berlim, Germany, 1999.

[22] SILVA, G. C.; GOLDNER, L. G. Modelos de Predição dos Níveis de Ruído e Monóxido de Carbono Gerados pelo Tráfego: o Caso de Florianópolis – SC. Proceedings. **18th Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET 2004**, Florianópolis, Brazil, 2004.

[23] STEELE, C. A. Critical Review of Some Traffic Noise Prediction Models. **Applied Acoustic** 62, 271-287, 2001.

[24] STEFANO, R.; DANATO, D.; MORRI, B. A Statistical Model for Predicting Road Traffic Noise on Poisson Type Traffic Flow. **Noise Control Engineering Journal** 49(3), 137-143, 2001.

[25] WHO (World Health Organization). International Society of Hypertension Guidelines for the Management of Hypertension, **Guidelines Subcommittee**, 2010.