



REDUÇÃO DE RUÍDO EM TERMINAIS DE TRANSPORTE COLETIVO URBANO: MODELAGENS PARA MINIMIZAR A GERAÇÃO DE RUÍDO EM FUNÇÃO DA ROTAÇÃO DOS MOTORES DOS ÔNIBUS

Frederico Rodrigues¹

Luiza Franco²

Carlos Alberto Faria³

¹(PET/COPPE) Universidade Federal do Rio de Janeiro

²Universidade Federal de Minas Gerais

³FECIV - Universidade Federal de Uberlândia

RESUMO

Quando em baixa velocidade a principal parcela de ruído gerada por veículos é proveniente dos motores. No caso de veículos pesados, esta proporção é ainda maior. Além disso, é perceptível ao ouvido humano que parece existir, para baixas velocidades, uma relação entre ruído gerado e rotação (rpm) do motor do veículo. Com intuito de identificar o tipo de relação existente entre ruído emitido e rotação do motor foi realizada uma série de medições com diferentes tipos de veículos pesados a partir da qual se constatou uma relação direta entre os dois parâmetros, sendo possível inclusive calibrar um modelo de predição de ruído em função da rotação de veículos pesados. De posse dessa constatação realizou-se um teste operacional em um terminal de transporte coletivo urbano para averiguar, na prática, qual seria o potencial de minimização de níveis sonoros em função da manutenção de baixo giro nos motores, enquanto os ônibus estivessem dentro do terminal. Os resultados mostram uma potencial e pouco onerosa medida para diminuir a geração de ruído nesses locais.

ABSTRACT

In low speed the major portion of noise generated by vehicles come from the engines. For trucks, the proportion is even greater. Moreover, the human ear is noticeable that there seems to low speeds, a relationship between noise generated and rotation (rpm) the engine of the vehicle. In order to identify the type of relationship between noise and rotation of the engine was a series of measurements with different types of trucks from which there was a direct relationship between the two parameters, which can also calibrate a model of prediction of noise depending on the speed of heavy vehicles. From this finding it was done an operational test in an urban public transport terminal to check in practice, what would be the potential to minimize the noise levels according to the maintenance of low spin in the engines, while the buses were running within the terminal. The results show an inexpensive and potential procedure to reduce the generation of noise at these places.

PALAVRAS CHAVE: Ruído em terminais, Modelo de previsão; Teste operacional

1. INTRODUÇÃO

O ruído gerado pelo tráfego de veículos é um problema cada vez mais preocupante hoje em dia em centros urbanos de porte médio e grande. Um dos principais agravante é o constante crescimento da frota de veículos, seja de veículos particulares ou do transporte público. Este quadro agrava uma série de questões ambientais, dentre as quais, o ruído.

Os sistemas de transportes são constituídos por quatro componentes: veículos, vias, terminais e planos de operação, sendo os terminais de transporte os locais onde as viagens começam ou terminam. Além disso, quando mais de uma modalidade de transporte é requerida para a realização de uma viagem, o transbordo, ou a mudança de modo, ocorre sempre em um terminal que podem ser edifícios especialmente projetados e construídos para esse fim (ROVIRIEGO et al., 2004).

No Brasil, o transporte público urbano é realizado predominantemente pelo ônibus (ANTP, 2005) os quais emitem altos níveis de ruído devido à potência dos motores. Pesquisas realizadas em terminais da cidade de Belo Horizonte, Uberlândia e Fortaleza, revelam que esses locais são insalubres neste quesito (RODRIGUES et al., 2006a; RODRIGUES et al., 2008 e SILVEIRA, 2008). No trabalho feito por Rodrigues (2006b) verificou-se que em todos terminais pesquisados, os níveis estavam acima do recomendado.

Considerando a rotação dos motores e o ruído gerado pelos ônibus, esse trabalho tem como objetivo, verificar qual é esse tipo de relação. Para isso será calibrado um modelo para subsidiar o teste operacional em um terminal.

2. METODOLOGIA

Com objetivo de verificar a relação entre os níveis de ruído emitidos pelos ônibus e a rotação dos motores foram realizadas várias medições em veículos isolados variando os níveis de rotações dos motores. Foi escolhido um local em Belo Horizonte com pouco movimento, pois o ruído de fundo deveria ser baixo para não interferir nos resultados do teste. Foram selecionados aleatoriamente os ônibus quanto às características de potência e posição do motor (dianteiro ou traseiro), idade e modelo. As medições foram realizadas com os veículos parados, variando somente a rotação dos motores.

Além disso, foram realizadas duas medições, sendo uma com a tampa do motor aberta e a outra com o ônibus em condições normais de tráfego. Nas duas situações o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado a 1 metro de distância. Para as duas situações descritas foi mensurado o nível de ruído para o motor com 700, 1.000, 1.500 e 2.200 rotações por minuto (rpm). As medições foram realizadas conforme especificações da Norma Brasileira NBR 15.145 (ABNT, 2004).

Assim que os dados foram coletados e processados procurou-se identificar alguma relação entre a rotação dos motores e o ruído gerado. O modelo foi calibrado com base na teoria da regressão linear, onde a variável independente (rotação) foi testada de diferentes maneiras. A validação estatística do modelo foi realizada com base no coeficiente de determinação (R^2), erro padrão de estimativa e no teste *t Student*.

3. CALIBRAÇÃO DO MODELO

3.1. Coleta de dados

Os valores das medições, bem como as características básicas dos veículos utilizados, estão apresentados na Tabela 1. Foram selecionados aleatoriamente 8 modelos de ônibus com diferentes posições de motor (dianteiro e traseiro), ano e modelo. O ano de fabricação dos veículos variou de 1995 a 2005. Durante as medições observou-se também o ruído de fundo presente.

Tabela 1 – Nível de ruído emitido pelos ônibus

Modelo	Ano	Giro (rpm)	Posição do motor	Ruído de Fundo (dB(A))	Ruído do motor (dB(A))	
					Fechada	Aberto
0371UL	1995	700	Traseiro	40	79,7	85,5
	1995	1000	Traseiro	40	83,8	90,0
	1995	1500	Traseiro	40	88,5	95,0
	1995	2200	Traseiro	40	90,8	100,3
O371VL	1996	700	Traseiro	40	78,5	84,0
	1996	1000	Traseiro	40	81,5	86,6
	1996	1500	Traseiro	40	86,5	92,0
	1996	2200	Traseiro	40	94,0	98,3
1621	1998	700	Traseiro	50	77,0	83,0
	1998	1000	Traseiro	50	84,0	89,0
	1998	1500	Traseiro	50	92,0	97,5
	1998	2200	Traseiro	50	94,0	99,0
OH1420	1999	700	Traseiro	40	79,0	83,5
	1999	1000	Traseiro	40	84,5	88,7
	1999	1500	Traseiro	40	91,5	92,8
	1999	2200	Traseiro	40	97,6	99,0
366LA	1999	700	Traseiro	50	78,0	87,0
	1999	1000	Traseiro	50	81,0	91,0
	1999	1500	Traseiro	50	87,0	96,0
	1999	2200	Traseiro	50	91,0	97,5
OF1721	2003	700	Dianteiro	40	79,5	81,5
	2003	1000	Dianteiro	40	81,5	82,5
	2003	1500	Dianteiro	40	86,0	87,0
	2003	2200	Dianteiro	40	93,0	94,0
1721MB	2004	700	Dianteiro	40	78,5	80,5
	2004	1000	Dianteiro	40	80,5	82,7
	2004	1500	Dianteiro	40	87,0	88,3
	2004	2200	Dianteiro	40	93,0	94,2
OF1722	2005	700	Dianteiro	40	77,0	78,3
	2005	1000	Dianteiro	40	81,5	83,0
	2005	1500	Dianteiro	40	87,0	86,5
	2005	2200	Dianteiro	40	89,0	92,0

Conforme apresentado na Tabela 1, aumentando o giro do motor o nível de ruído emitido também aumenta. Durante as medições foram obtidos níveis de ruídos acima de 100 dB(A) com a tampa do motor aberta e acima de 97 dB(A) com a tampa fechada com o motor em 2.200 rpm. O menor valor encontrado foi de 77 dB(A) para o ônibus com motor traseiro, ano 1998, com a tampa fechada e rotação de 700 rpm.

Não se observou nenhuma relação entre os níveis de ruído emitidos em função da posição do motor (dianteiro ou traseiro), bem como da idade da frota. Acredita-se que a amostra utilizada foi pequena, visto que deve haver relação com os dois parâmetros.

3.2. Desenvolvimento do modelo

Com base nos valores obtidos durante as medições, com os veículos isolados, desenvolveu-se um modelo simplificado para previsão de ruídos dos ônibus em função somente da rotação do motor. O modelo foi desenvolvido com base na teoria da regressão linear simples a partir dos dados de rotação do motor e nível de pressão sonora em dB(A) e foram somente considerados os valores coletados com a tampa do motor fechada.

A Figura 1 mostra o diagrama de dispersão dos dados de ruído em função da rotação dos motores. É possível perceber claramente que o nível de ruído aumenta com o aumento das rotações por minuto dos motores dos veículos.

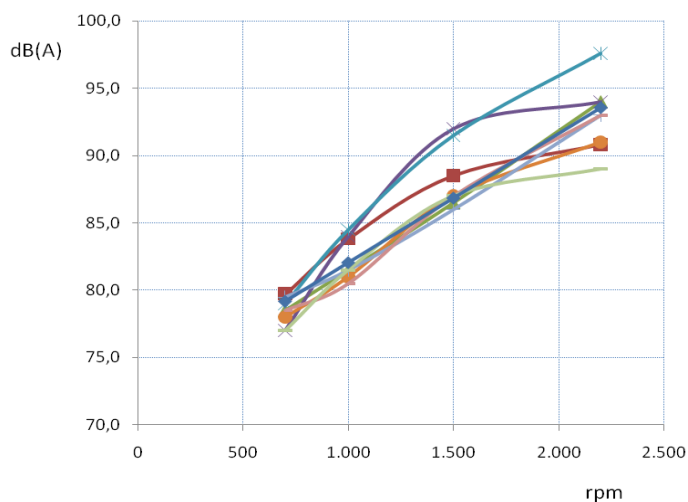


Figura 1 – Diagrama do nível de ruído em função das rotações dos motores

Para o desenvolvimento do modelo, foram testadas 3 relações de giro do motor, a saber:

- Rotações por minuto (rpm);
- Logaritmo neperiano das rotações por minuto;
- Raiz quadrada das rotações por minuto.

A seguir serão apresentados os valores dos testes estatísticos para os três modelos:

Modelo 1

$$R = 72,29 + 0,01 \times \text{rpm} \quad (1)$$

$$R^2 = 0,87 \quad S_{Y(E)} = 2,12 \quad t_{(b)} = 71,9 > t_{\min} = 1,7$$

Modelo 2

$$R = 12,88 \times \ln(\text{rpm}) - 6,21 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,89 \quad S_{Y(E)} = 1,96 \quad t_{(b)} = 1,0 > t_{\min} = 1,7$$

Modelo 3

$$R = 59,46 + 0,72\sqrt{\text{rpm}} \quad (3)$$

$$R^2 = 0,89 \quad S_{Y(E)} = 1,99 \quad t_{(b)} = 33,7 > t_{\min} = 1,7$$

Onde: rpm são as rotações por minuto;

t_{\min} é o valor mínimo da distribuição t de Student

(com < 5% de nível de significância e 28 graus de liberdade)

O modelo 1 possui o menor coeficiente de determinação R^2 e o maior erro padrão de estimativa. Os modelos 2 e 3 possuem valores iguais de R^2 , porém apesar do erro padrão de estimativa no modelo 2 ser ligeiramente menor, o valor do teste t de student foi consideravelmente maior no modelo 3, portanto este modelo é o melhor do ponto de vista estatístico.

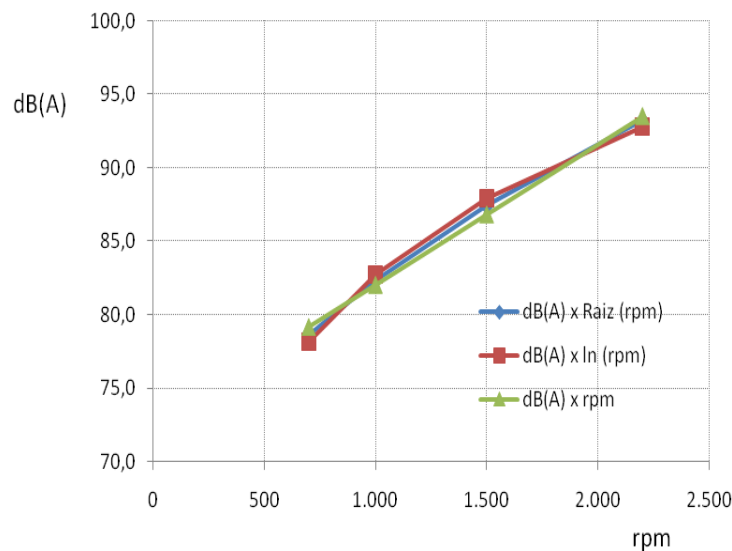


Figura 2 – Valores do nível sonoro obtido pelos modelos

Na Figura 2 estão apresentados os valores previstos pelos modelos. No eixo horizontal estão os valores de giro do motor (rpm) e no eixo vertical estão os valores de nível sonoro previstos pelos modelos em dB(A). Os testes estatísticos indicam que existe boa aderência com os valores medidos. Portanto, de forma geral, o comportamento de direção dos motoristas com

os veículos dentro do terminal tem influência direta na poluição sonora nesses ambientes, bem como no entorno.

4. TESTE OPERACIONAL

Para verificação de quanto poderia ser reduzido o ruído no terminal foram realizadas duas medições distintas, sendo uma considerada em situação normal e a outra com os veículos trafegando com baixo giro do motor.

Adotou-se como estratégia solicitar ao órgão gestor de trânsito e transportes a divulgação de uma circular para as empresas operadoras explicando os objetivos da pesquisa e, pedindo a colaboração, para que em dia determinado os motoristas circulassem na área do terminal mantendo baixo nível de rotação dos motores. Além disso, durante todo o período de medição, solicitaram-se dois colaboradores nas entradas do terminal com cartazes alertando para manter baixo nível de rotação dos motores durante a manobra no terminal.

Em seguida, a coleta de dados foi realizada com medidor de nível de pressão sonora do tipo 2 da marca Lutron, modelo SL-4001. Os níveis de ruído foram mensurados durante 1 hora em intervalos de 15 segundos e, simultaneamente, fez-se a contagem do fluxo de veículos no terminal, com totalizações em intervalos de 5 minutos. O horário escolhido para realização das medições foi durante o período de pico da tarde, por ser nesse a situação mais crítica.

Na Figura 3 estão mostrados os valores obtidos nas medições, com e sem o procedimento de giro reduzido nos motores, realizada no Terminal Santa Luzia, em Uberlândia (MG). Os valores de L_{eq} apresentados estão em intervalos de cinco minutos. A Figura tem nas abscissas valores para intervalos de fluxos de veículos.

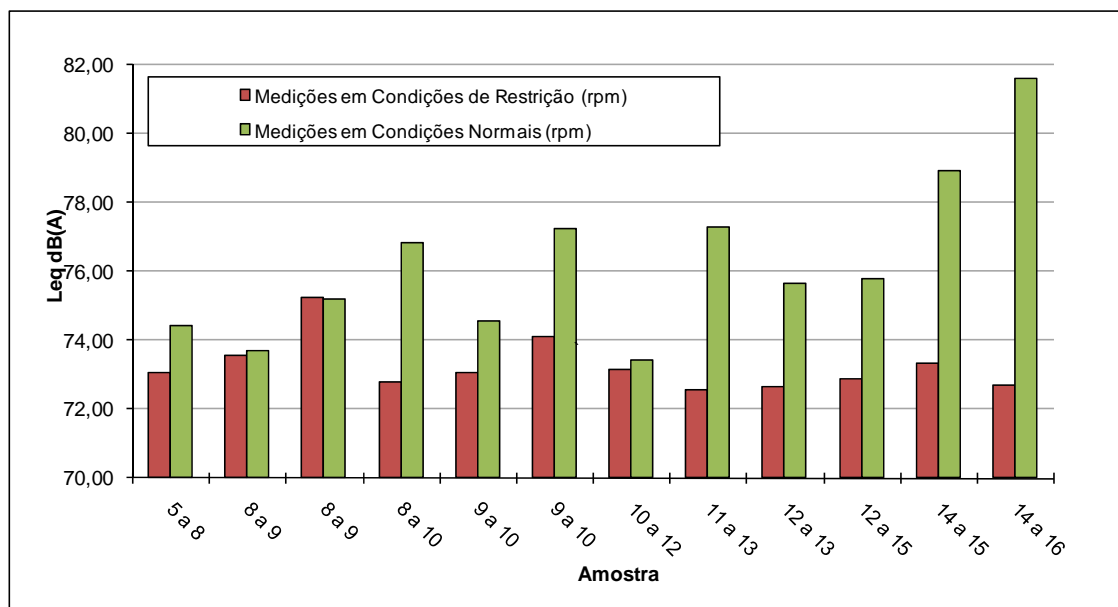


Figura 3 - Medições com e sem o procedimento de baixo giro nos motores

O gráfico mostra claramente que praticamente em todos os intervalos houve uma diminuição do Nível Sonoro Equivalente. Além disso, é possível verificar que há uma diferença maior

nos valores de L_{eq} à medida que se aumenta o número de veículos. Ou seja, o resultado do experimento é mais perceptível para fluxos maiores.

A redução do $L_{eq,1h}$ foi da ordem de pouco mais de 3 dB(A), passando de 76,9 dB(A) para 73,3 dB(A), quando se comparou com a medição em condições operacionais regulares do cotidiano. A média realizada para os 12 valores de $L_{eq,5min}$ (calculados em intervalos de cinco minutos durante 1 hora de medição) também apontou uma redução de aproximadamente 3 dB(A), passando de 76,23 dB(A) para 73,27 dB(A).

5. CONCLUSÃO

O procedimento realizado para verificar a relação entre rotação dos motores (rpm) com ruído gerado mostrou que esta existe, porém não é linear. A partir dos dados foi possível calibrar um modelo simples de predição em função da raiz quadrada da rotação cuja precisão foi validada por indicadores estatísticos.

Com base nessa conclusão, realizou-se um procedimento operacional em um terminal urbano onde os motoristas foram instruídos a trafegar com baixo giro do motor no período de medição. As conclusões do experimento mostraram reduções da ordem de 3 dB, o que é bastante significativo.

Logo, verifica-se que a realização de campanhas educativas com os motoristas pode ser uma medida pouco onerosa para diminuir a geração de ruído em terminais de transporte coletivo urbano.

Referências

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15145: Acústica - Medição do ruído emitido por veículos rodoviários automotores em aceleração – Método de engenharia. ABNT (2004).
- ANTP, “Condições atuais do trânsito e do transporte no país”, (2005). Arquivo eletrônico disponível em http://www.antp.org.br/telas/transito/cap_trans.htm. Acesso em 11/06/2005.
- RODRIGUES, F.; FARIA, C.A.; MAGALHÃES, M. D. C.; SILVA, M. G.; Ruído em terminais de transporte coletivo urbano – um estudo de caso In Anais do XX Congresso de pesquisa e ensino em transportes - ANPET. Brasília (2006a).
- RODRIGUES, F. (2006b). Análise de Ruído em Terminais de Transporte Coletivo Urbano: Desenvolvimento de Modelos de Previsão, Dissertação de Mestrado, 136 p. Uberlândia: Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia.
- RODRIGUES, F. et al.; Ruído em terminais de transporte coletivo urbano – um estudo de caso In Anais do XXII Congresso de pesquisa e ensino em transportes - ANPET. Fortaleza (2008).
- SILVEIRA, R.C. (2008). Procedimento de análise do impacto ambiental do ruído de tráfego em terminais de transporte coletivo urbano: um estudo de caso no município de Fortaleza. Dissertação de Mestrado, 148 p. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará.
- ROVIRIEGO, L. F. V.; SILVA V. B.; SILVA, A. N. R. Explorando recursos de um SIG-T para avaliação do layout de terminais de transporte. In: Anais do XVIII Congresso de pesquisa e ensino em transportes - ANPET. Florianópolis (2004).