



IDENTIFICAÇÃO, QUANTIFICAÇÃO E ANÁLISE ESPECTRAL DAS FONTES DE RUÍDO EM TRATORES AGRÍCOLAS

João Candido Fernandes

João Eduardo Guarnetti dos Santos

Abílio Garcia dos Santos Filho

UNESP – Universidade Estadual Paulista – Departamento de Engenharia Mecânica

Faculdade de Engenharia – Câmpus de Bauru

Av. Luiz E. Coube S/N.º - CEP: 17.033-360 – Bauru, Brasil

Resumo. *Inúmeros trabalhos científicos têm comprovado a existência de insalubridade por ruído em operações com tratores agrícolas. Enquanto sabe-se que acima de níveis de ruído de 80 dB(A) para exposições de 8 horas diárias já existe risco auditivo, essas máquinas emitem ruídos acima de 95 dB(A). O maior problema para os pesquisadores é identificar as fontes de ruído em um trator e quantificar a contribuição de cada uma no ruído total da máquina. Desta forma, o objetivo deste trabalho é a identificação dos componentes mecânicos do trator que geram ruído.*

A metodologia empregada na avaliação do ruído de cada fonte seguiu os seguintes passos: identificação das fontes, isolamento das fontes, medição do ruído emitido por cada fonte e análise espectral dos dados medidos. Na medição do ruído foram utilizadas as metodologias previstas nas Normas ISO e Normas Brasileiras, empregando-se um sistema aquisitor de dados (placa analógico-digital instalada em um computador) para o levantamento do espectro de frequências.

Os resultados mostraram que o ruído total de um trator é formado pela composição dos ruídos da exaustão dos gases, ruído da hélice, ruído da bomba injetora, ruído do filtro de ar e ruído da vibração mecânica do motor. A quantificação de cada parcela de ruído é apresentada em curvas espectrais.

Como conclusão, é possível perceber a importância da identificação de cada fonte de ruído de um trator, principalmente com a análise espectral. Estes dados permitem quantificar as frações que formam o ruído total, facilitando bastante o trabalho de atenuação do ruído em cada fonte.

Palavras-chave: *Ruído, Trator, Fontes de Ruído, Análise Espectral.*

1. INTRODUÇÃO

O ruído pode ser definido como sendo um som indesejável e que perturba a humanidade há pelo menos 2500 anos. Atualmente, tem se constituído na principal forma de poluição do mundo moderno. Em locais de trabalho, o ruído tem atingido índices insalubres,

levando os países a publicarem leis de proteção dos trabalhadores. Dados recentes dos USA mostram que dos 28 milhões de americanos com perda auditiva, 10 milhões têm como causa o ruído. (CARNEY, 1991).

Inúmeros trabalhos têm comprovado que os níveis de ruído emitido pelos tratores agrícolas oferecem risco de perda de audição a seus operadores (LIERLE e REGER, 1958; WESTON 1963; JANSEN 1966; ROWLEY 1967; FERNANDES, 1991; FERNANDES, 1996). Para a atenuação desse ruído, o primeiro estágio de estudos deve se concentrar sobre as fontes geradoras de ruído do trator. Várias tentativas de obtenção do ruído de cada parte do trator, separadamente, já foram feitas (ROWLEY, 1967; PISTONO et al., 1995).

Assim, o objetivo deste trabalho é identificar, quantificar e analisar a distribuição de frequências dessas fontes de ruído.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada na avaliação do ruído de cada fonte seguiu os seguintes passos: identificação das fontes, isolamento das fontes, medição do ruído emitido por fonte e análise espectral dos dados medidos. Na medição do ruído foram utilizadas as metodologias previstas na Norma ISO 5131 e Norma Brasileira NBR 9999, empregando-se um sistema aquisitor de dados (placa analógico-digital instalada em um computador) para o levantamento da densidade espectral do ruído. Para conferir as medições foi utilizado um Medidor de Nível Sonoro de banda larga da marca Entelbra, modelo ETB 142-A e um calibrador modelo ETB 135-B. O trator utilizado foi um Massey-Ferguson MF-275, com motor Diesel de 4 cilindros e 4 tempos.

O isolamento das fontes teve o seguinte procedimento:

◆ Para a medição do ruído exclusivo dos gases de exaustão, foi instalada uma tubulação sob o solo com cerca de 20 metros; uma extremidade da tubulação foi conectada à tubagem de saída dos gases do motor e a outra foi o ponto das medições. Neste ponto foi levantada a densidade espectral do ruído dos gases com e sem o silencioso original do trator;

◆ A mesma tubulação foi usada na medição do ruído do ar de admissão do trator; quando a extremidade foi conectada à tubagem de admissão, na outra extremidade foi possível avaliar o espectro do ruído da sucção do ar, com e sem o filtro de admissão;

◆ A medição do ruído da hélice do motor foi realizada quando esta girava, na rotação equivalente à rotação de trabalho do motor (1800 rpm), acionada por um motor elétrico; para este modelo de trator, a hélice gira 1,34 vezes a rotação do motor.

◆ Método semelhante ao da hélice foi utilizado na medição do ruído da bomba injetora; em uma oficina especializada em regulagem de bombas injetoras, foram simuladas as condições reais de trabalho com a máquina de regulagem de bombas e medido o ruído.

◆ O ruído da vibração mecânica (motor e trator) foi feito por exclusão.

A placa aquisitora de dados tinha a seguinte configuração:

- placa analógico-digital LMS da marca 'Linear X', com microfone dinâmico, com 8 bits, distorção harmônica total (DHT) de 0,015%;
- software LMS, próprio da placa, versão 3.1;
- análise da densidade espectral do ruído numa banda de frequências entre 20 e 20 kHz;
- utilização de dois filtros passa-banda de frequência de 24 dB/oitava;
- registro dos dados (com 3 repetições) de 200 pontos por análise, o que corresponde à análise em bandas de 1/20 de oitava.

Todas as medições foram realizadas com o trator estacionado e o motor acionado em sua rotação de máximo torque (1800 rpm). O microfone para captação do ruído foi posicionado a 30 cm das fontes, e empregado de acordo com as especificações técnicas do fabricante.

Durante as medições, avaliou-se também o ruído de fundo. Neste trabalho, o ruído de fundo se configurava pelo nível de som emitido pelas outras fontes do trator, quando uma das fontes era medida. Em todos os casos a relação entre sinal medido e ruído de fundo esteve acima de 20 dB.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES:

3.1 – O Ruído da Exaustão dos Gases

A densidade espectral do ruído de exaustão dos gases do trator é mostrado na Fig. 1. Os espectros equivalem ao ruído com e sem o silencioso original do trator.

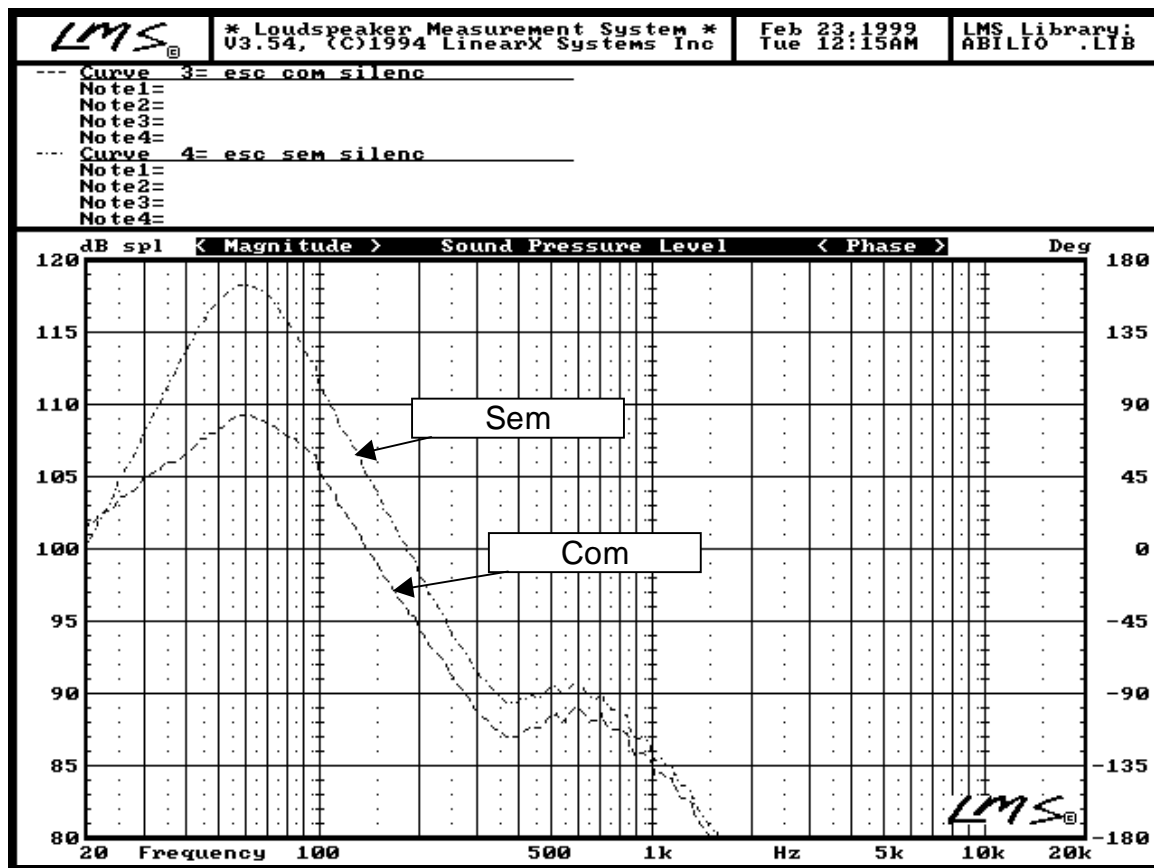


Figura 1 – Densidade espectral do ruído de exaustão dos gases do motor

Os espectros do ruído dos gases de exaustão apresentaram picos (118 e 109 dB) em 60 Hz, relacionado com a pulsação dos gases de combustão. O motor (4 tempos e 4 cilindros) girando a 1800 rpm trabalha com 60 explosões por segundo, fazendo com que os gases da combustão sejam expulsos a 60 Hz. Este resultado está de acordo com a equação que calcula o número de explosões de um motor de 4 tempos:

$$F_p = \frac{R_m \cdot N_c}{120} = \frac{1800 \cdot 4}{120} = 60 \text{ [Hz]} \quad (1)$$

onde:

F_p = frequência da componente fundamental do ruído dos pulsos dos gases [Hz]

R_m = rotação do motor [rpm]

N_c = número de cilindros do motor.

3.2 – O Ruído da Admissão do Ar

Da mesma forma que ocorre na exaustão dos gases da combustão, a admissão do ar de um motor Diesel também é realizada em pulsos. Estes pulsos acontecem durante a fase de admissão do motor, apresentando uma frequência idêntica ao ruído de exaustão (Eq. 1). A densidade espectral do ruído do ar de admissão com e sem o elemento filtrante é apresentada na Fig. 2.

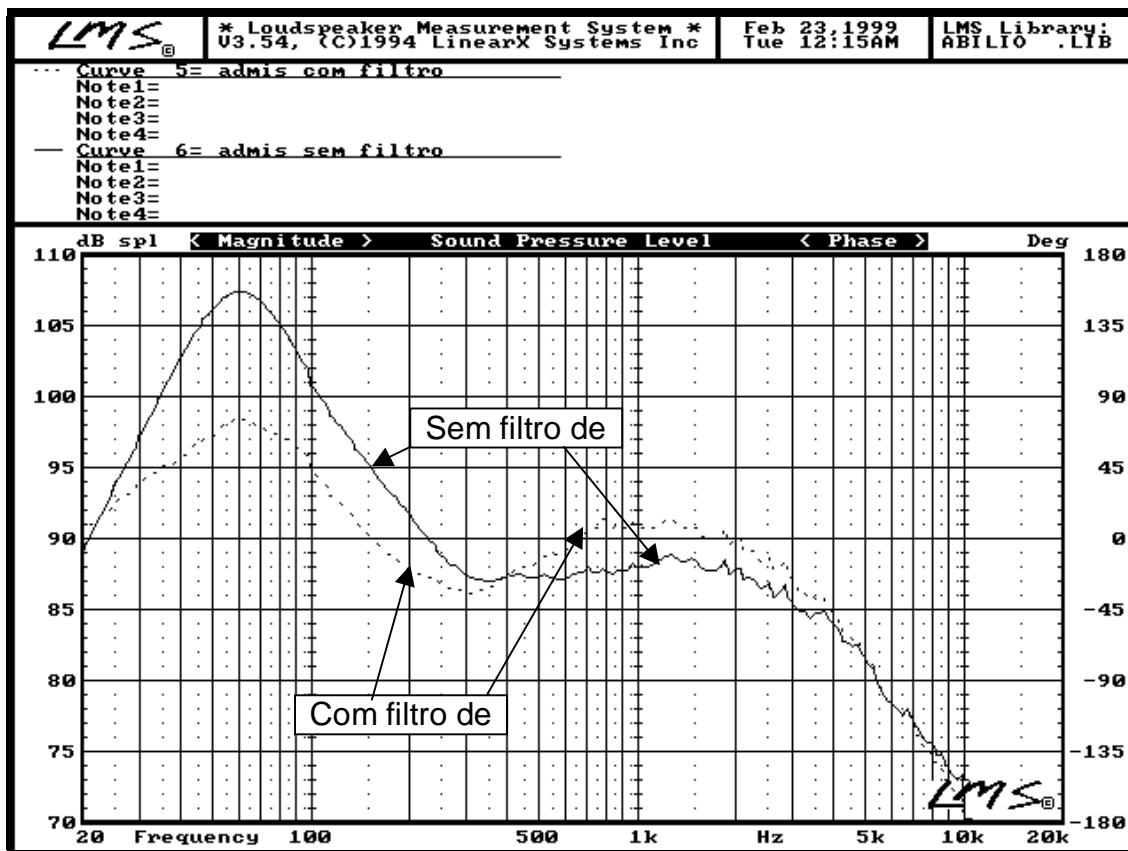


Figura 2 – Densidade espectral do ruído de admissão do ar do motor

Nota-se claramente que o ruído de admissão é produzido pela soma de dois fatores: o ruído da sucção do ar e o barulho do acionamento das válvulas de admissão (tuchos, balancins, válvula e acento da válvula). Ao ser instalado o filtro de ar, este atenua o ruído do comando de válvulas (funcionando como um silencioso), mas aumenta a turbulência do ar incrementando o ruído de sucção do ar.

3.3 – O Ruído da Hélice do Motor

O espectro do ruído da hélice é apresentado na Fig. 3.

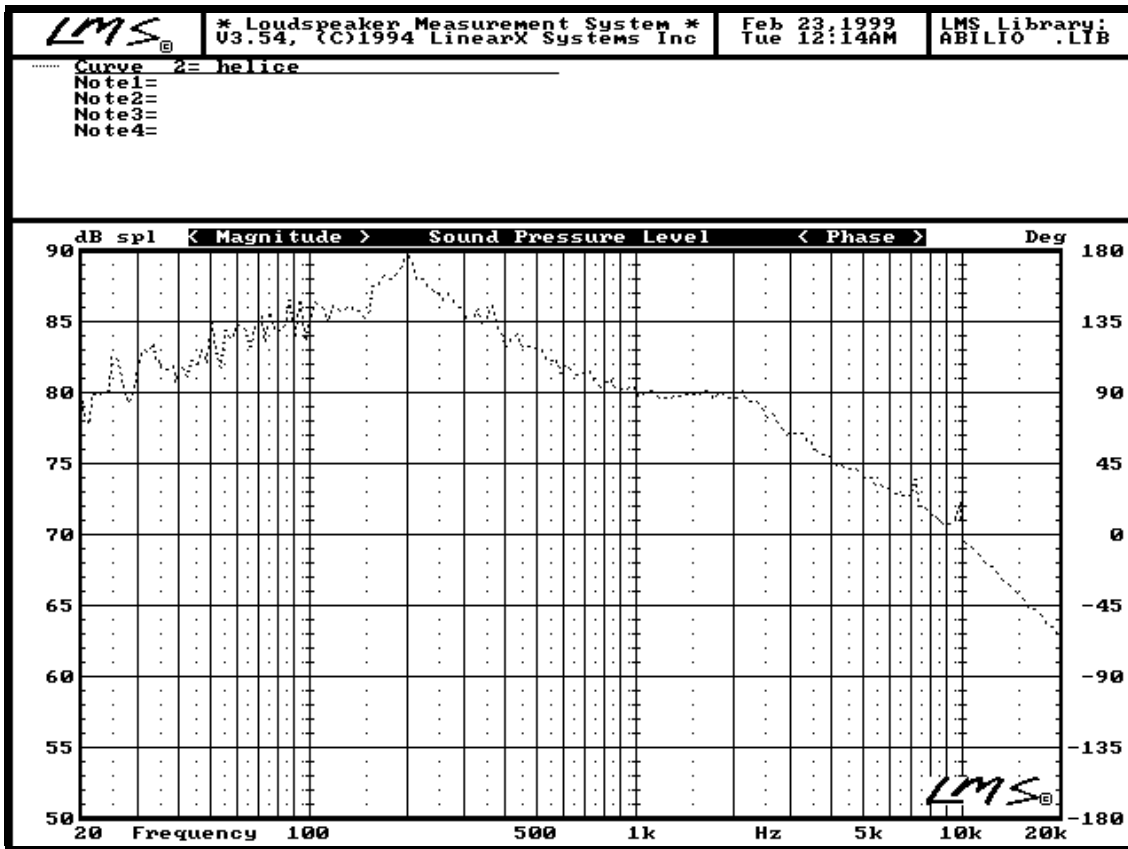


Figura 3 – Densidade espectral do ruído da hélice do motor

A frequência fundamental do ruído de uma hélice é dada pela Eq. 2. No caso do motor do trator, a relação de transmissão entre o virabrequim e o eixo da hélice era de 1,34.

$$F_h = \frac{R_h \cdot N_p}{60} = \frac{(R_m \cdot 1,34) \cdot N_p}{60} = \frac{(1800 \cdot 1,34) \cdot 5}{60} = 201 \text{ Hz} \quad (2)$$

onde:

- F_h = frequência da componente fundamental do ruído das pás da hélice [Hz];
- N_p = Número de pás da hélice;
- R_h = Rotação do eixo da hélice [rpm].

Nota-se que o ruído da hélice, apesar do pico em 201 Hz, apresenta uma banda bastante ampla, com nível sonoro considerável entre 60 e 500 Hz. Isto acontece em razão da turbulência do fluxo de ar gerado pela hélice, ao passar entre os elementos do motor (radiador, bloco, coletores, etc.).

3.4 – O Ruído da Bomba Injetora

A Fig. 4 apresenta o espectro do ruído da bomba injetora.

O ruído analisado apresentou um discreto pico em 60 Hz, em razão do motor estar executando 60 explosões por segundo e, portanto, a bomba realizando este mesmo número de injeções. Nota-se também uma larga banda de altos níveis sonoros até 500 Hz, causados pelo ruído das outras partes da bomba.

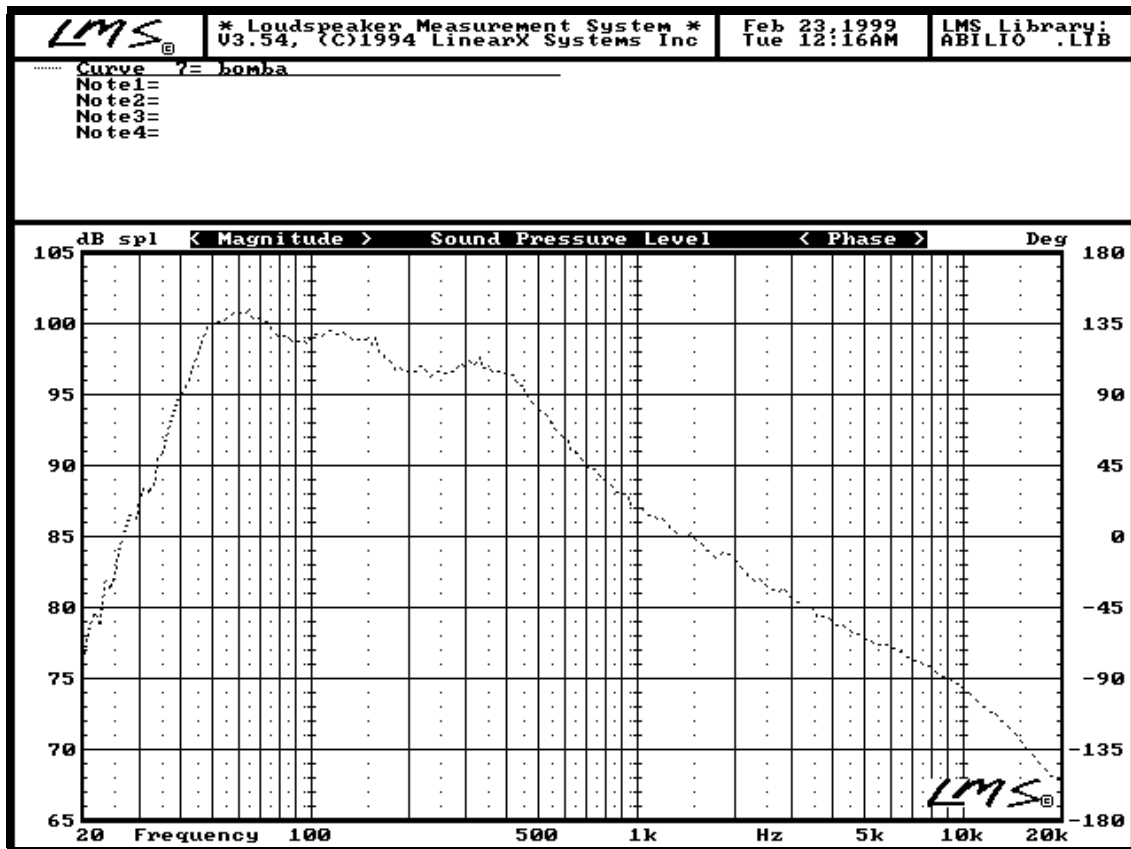


Figura 4 – Densidade espectral do ruído da bomba injetora.

3.5 – O Ruído da Vibração Mecânica

Este ruído é causado pelas inúmeras partes do motor e do trator que estão vibrando, pela excitação do motor em funcionamento: as explosões e o movimento dos elementos internos do motor (pistões, bielas, virabrequim, comando de válvulas, hélice, bomba injetora, etc.) causam desbalanceamentos (principalmente para um motor Diesel de 4 cilindros que não é balanceado nos 3 eixos cartesianos) gerando a vibração em toda a máquina.

Por ser a somatória da vibração de muitas massas vibrantes, trata-se de um ruído de espectro amplo e de difícil caracterização. A Fig. 5 apresenta o espectro deste ruído.

3.6 – A Obtenção do Ruído Total da Máquina.

Em razão da metodologia empregada nas medições, onde o microfone foi posicionado a 30 cm de cada fonte, a soma dos níveis obtidos não teria qualquer significado físico. É possível, porém, prever-se o nível de ruído gerado por uma fonte em um determinado ponto, utilizando-se a lei do inverso do quadrado da distância para uma propagação livre (cada vez que se dobra a distância da fonte, o nível de som se atenua de 6 dB). Tomando-se como ponto de referência o ouvido do tratorista, medindo-se a distância de cada fonte a este referencial e aplicando-se a atenuação correspondente pode-se obter o ruído total que chega ao ouvido operador do trator. Os valores usados na atenuação são apresentados na Tabela 1.

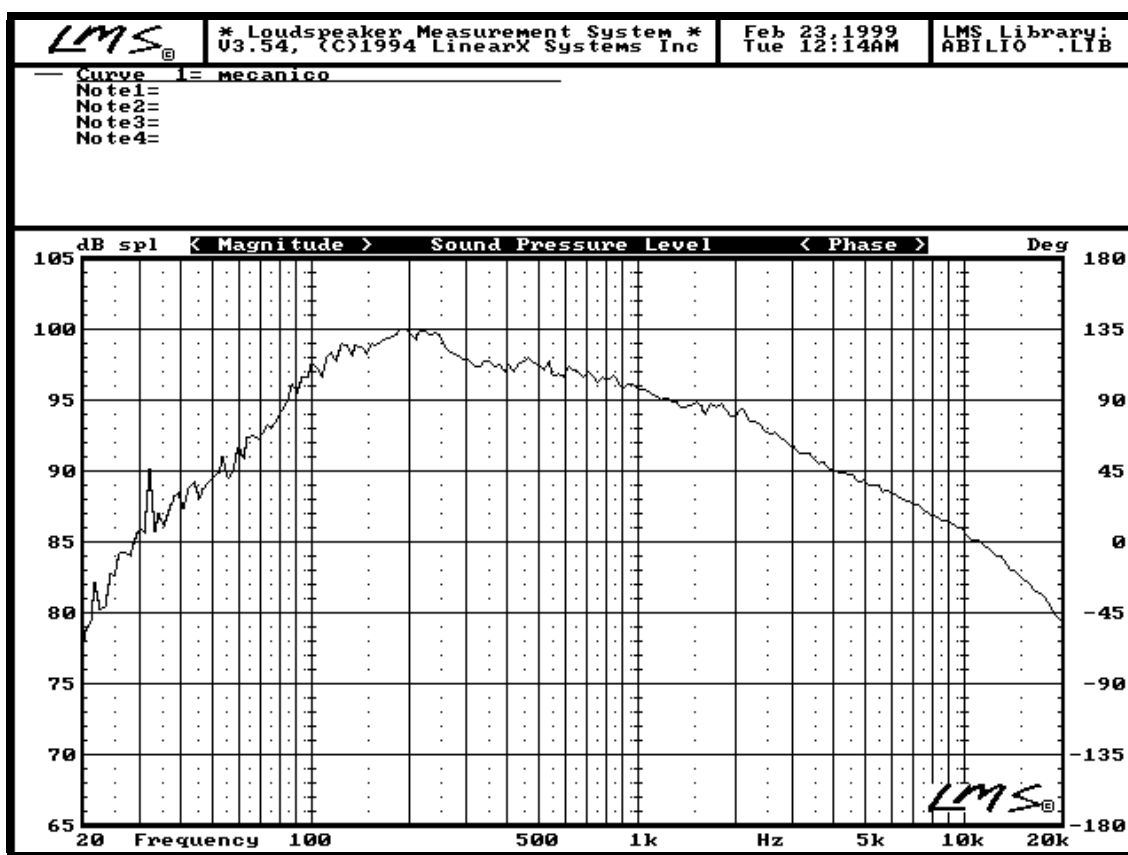


Figura 5 – Densidade espectral do ruído dos elementos mecânicos do motor/trator.

Tabela 1 – Dados usados na obtenção dos níveis de ruído no ouvido do operador

Fonte	Distância média do ouvido do tratorista à fonte [m]	Atenuação [dB]
Escapamento	1,71	15,1
Filtro de ar	2,13	17,0
Hélice do Motor	1,93	16,2
Bomba Injetora	1,76	15,4
Vibração Mecânica	1,68	14,9

A Fig. 6 apresenta os níveis de pressão sonora de cada fonte no ouvido do tratorista e o ruído total.

O ruído da exaustão dos gases se colocou como a fonte sonora mais intensa do trator. O pico de 109 dB (a 30 cm, com silencioso) deve atingir o ouvido do tratorista (a 1,71 metros desta fonte) com valores próximos a 94 dB. A somatória de todos os ruídos (o ruído total) atinge o ouvido do tratorista com um nível de 99 dB (a 60 Hz). Esses valores indicam altos níveis de pressão sonora, com risco iminente de perda auditiva do operador, exigindo proteção auditiva adequada (Fernandes, 1996). A Portaria 3.214 do Ministério do Trabalho, em sua NR 15, anexo1, obriga a proteção de todos os trabalhadores expostos a níveis de ruído acima de 85 dB(A) por 8 horas diárias.

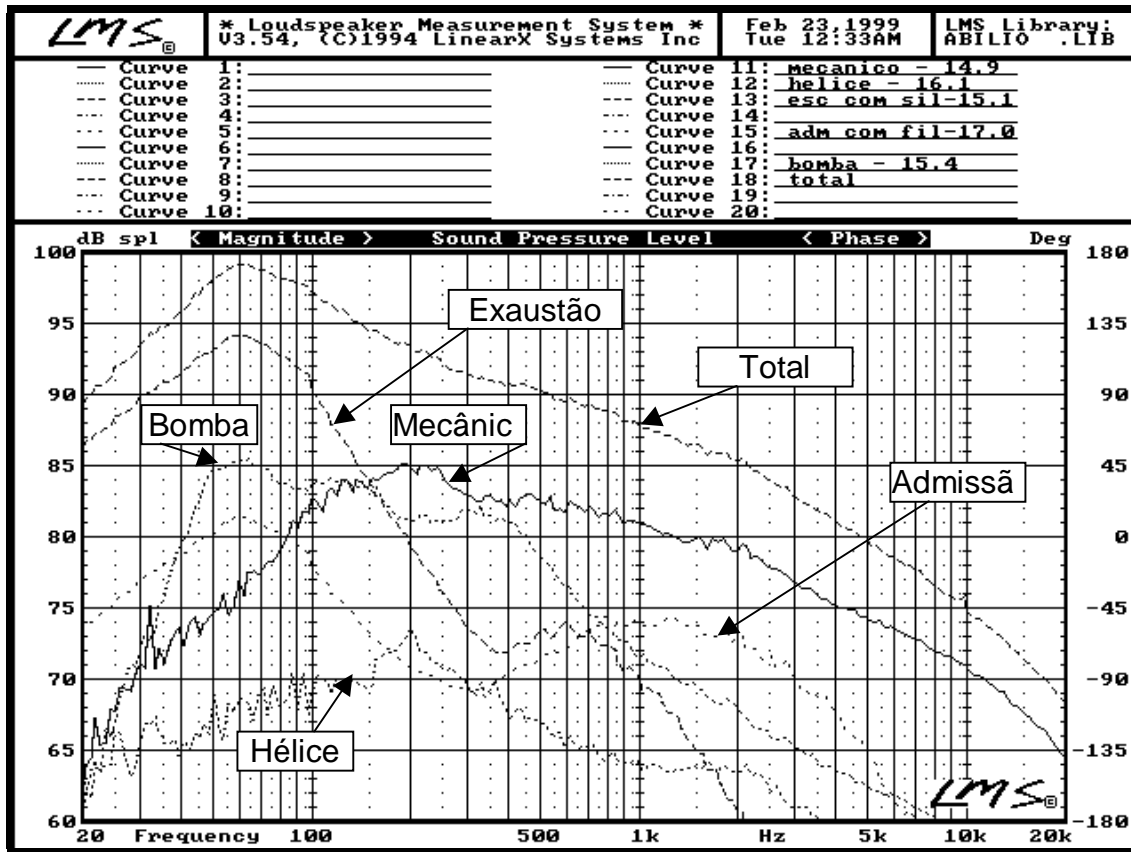


Figura 6 – Densidade espectral do ruído de todas as fontes no ouvido do tratorista.

Outra consideração importante que deve ser feita é que esses níveis se referem ao trator parado; com o trator em movimento, executando uma operação agrícola, em razão do esforço do motor, a intensidade do ruído deve ser maior. Fernandes (1991) mostrou que, a partir do ruído do trator parado, uma gradagem aumenta em até 3,5 dB o ruído total; uma escarificação em 5,5 dB; uma aração em 5,7 dB; e uma subsolagem pode chegar a 7,6 dB de aumento.

A curva de densidade espectral da soma do ruído de cada fonte (Fig. 6) é muito próxima das curvas obtidas por Fernandes (1991) e Fernandes (1996), quando foi medido o espectro do ruído total próximo ao ouvido do tratorista.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para os níveis de ruído de cada parte de um trator mostram a exaustão dos gases como principal geradora de ruído. O ruído da admissão dos gases, embora de grande intensidade, é gerado a grande distância do operador, não contribuindo significativamente no ruído total; o inverso ocorre com a bomba injetora e a vibração mecânica que, embora não gerando grandes intensidades sonoras, são órgãos mais próximos do tratorista. A hélice além de gerar pouco ruído está distante do operador.

Estes dados vislumbram inúmeras formas de atenuação do ruído em tratores: um maior aprimoramento no dimensionamento dos silenciosos, a alteração na posição do sistema de exaustão dos gases, a utilização de bombas injetoras mais silenciosas, ou seu deslocamento para uma posição mais distante do operador, um melhor amortecimento dos elementos

mecânicos visando reduzir o ruído de vibração, o enclausuramento do motor tendo em vista diminuir o ruído da hélice, da bomba injetora e da vibração mecânica, etc.

5. BIBLIOGRAFIA :

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma NBR 9999 – *Medição do Nível de Ruído, no Posto de Operação, de Tratores e Máquinas Agrícolas*. 1987.

BRASIL – Portaria 3.214, de 8 de junho de 1978. Aprova as Normas Regulamentadoras (NR) do Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho, 1978.

CARNEY, P.J. – “Introductory Remarks: 1991 ASHA President”. *Combatting Noise in the 90’s: A National Strategy for the United States. American Speech, Language, and Hearing Association Publication*, p. 11-12, 1991.

FERNANDES, J.C. – “*Atenuação dos Níveis de Ruído em Tratores Agrícolas*”. Bauru: UNESP, 1996. 114 p. Tese de Livre-docência – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, 1996.

FERNANDES, J.C. - “*Avaliação dos níveis de ruído em tratores agrícolas e seus efeitos sobre o operador*. Botucatu : UNESP, 1991. 192 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista, 1991.

ISO – International Organization for Standardization – ISO 5131 – *Acoustics – Tractors and Machinery for Agriculture and Forestry – Measurement of Noise at the Operator’s Position*. 1982.

JANSEN, J.K. Are Tractors Noisy ? *Agricultural Engineering*, v. 47 (10), p.534-537, 1966.

LIERLE, D.M. & REGER, S.N. The Effect of Tractor Noise on the Auditory Sensitivity of Tractor Operators. *The Annals of Otology Rhinology & laryngology*, v. 62 (2), p. 372-388, 1958.

PISTONO, J.; SANTOLARIA, C.; MARTÍNEZ, J. Intensimetric Location Sound Sources - Application Diesel Engines. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 1995. Anais ...*, Belo Horizonte, Master Soft, 1995, 4 p. CD ROM.

ROWLEY, D.W. Control of Farm Tractor Intake and Exhaust Noise. *Sound and Vibration*, v. 1, (3), 1967.

WESTON, H.R. A Survey of Tractor Noise and the Effects on Hearing. *The Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*, v. 29 (1, march), p. 15-22, 1963.

IDENTIFICATION, QUANTIFICATION AND SPECTRAL ANALYSIS OF THE SOURCES OF NOISE IN AGRICULTURAL TRACTORS

Summary. Innumerable scientific works have been verifying the unhealthiness existence for noise in operations with agricultural tractors. While it is known that above levels of noise of 80 dB(A) for expositions of 8 daily hours auditory risk already exists, those machines emit noises above 95 dB(A). The largest problem for the researchers is to identify the noise sources in a tractor and to quantify the contribution of each one in the total noise of the machine. This way, the objective of this work is the components mechanics of the tractor identification that they generate noise.

The methodology employed in the evaluation of the noise of each source followed the following steps: identification of the sources, isolation of the sources, mensuration of the noise emitted by each source and spectral analysis of the measured data. In the mensuration of the noise the methodologies followed in the Normas ISO and Brazilian Norms were used, being employed a system acquisition of data (analogical-digital plate installed in a computer) for the obtaining of the spectrum of frequencies.

The results showed that the total noise of a tractor is formed by the composition of the noises of the exhaust of the gases, noise of the propeller, noise of the inject bomb, noise of the filter of air and noise of the mechanical vibration of the motor. The quantification of each noise portion is presented in spectral curves.

As conclusion, is possible to perceive the importance of the identification of each source of noise of a tractor, mainly with the spectral analysis. These data permit to quantify the fractions that form the total noise, facilitating enough the work of attenuation of the noise in each source.

Key-Words: Noise, Tractor, Sources of Noise, Spectral Analysis.