

## MAPEAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO RUÍDO EMITIDO POR UM TRATOR DE RABIÇA POR MEIO DA GEOESTATÍSTICA

LUANA MENDES GONÇALVES<sup>1</sup>, GABRIEL ARAÚJO E SILVA FERRAZ<sup>2</sup>, CARLOS JOSÉ DA SILVA<sup>3</sup>, MARCUS VINÍCIUS MORAIS DE OLIVEIRA<sup>4</sup>, PATRÍCIA FERREIRA PONCIANO FERRAZ<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica – RJ, luanna\_mendess@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrícola, Prof. Adjunto, Instituto de Tecnologia/Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica – RJ, Fone: (0XX21) 2682-1864, gabrielferraz@ufrj.br

<sup>3</sup> Licenciado em Ciências Agrícolas, Técnico Administrativo do Colégio Técnico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, (CTUR), Seropédica – RJ, carlosjose19621@gmail.com.br

<sup>4</sup> Engenheiro Agrícola e Ambiental, Prof. Adjunto, Instituto de Tecnologia/Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica – RJ, Fone: (0XX21) 2682-1864, marcusoliveira@ufrj.br

<sup>5</sup> Zootecnista, Professora, Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG; patyponciano@yahoo.com.br

Apresentado no  
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014  
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

**RESUMO:** O ruído é um dos agentes físicos nocivos e estressantes presente no ambiente de trabalho. A maioria dos trabalhos para avaliação desse parâmetro em máquinas agrícolas levaram em consideração somente 4 eixos, desconsiderando todo o entorno da máquina. Objetivou-se com este trabalho, utilizar a geoestatística para mapear e caracterizar a magnitude da variabilidade espacial do ruído emitido por um trator de rabiça, visando identificar zonas de salubridade para os trabalhadores. O experimento foi desenvolvido no Colégio Técnico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Utilizou-se um trator de rabiça agrícola (10,3kW) colocado em regime de trabalho (2400 rpm), acoplado a uma roçadora, e um decibelímetro digital para a coleta dos níveis de ruído em pontos distribuídos numa malha amostral regular de 2,0 x 2,0 m ao redor do trator. A dependência espacial do ruído foi analisada por meio de ajuste de semivariograma e interpolação por krigagem. Foi possível caracterizar a estrutura e a magnitude da dependência espacial dos níveis de ruído emitidos pelo trator, bem como realizar o mapeamento da distribuição espacial. Observou-se níveis de ruídos acima do limite de 85 dB(A) para 8 horas de exposição diária tanto no posto de operação quanto ao redor da máquina.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conforto acústico, Mecanização Agrícola, Variabilidade espacial, Ergonomia.

## MAPPING OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF THE NOISE EMITTED BY A WALKING TRACTOR USING GEOSTATISTICS

**ABSTRACT:** Noise is one of the harmful physical and stressors agents present in the labor environment. The majority of the studies to evaluate this parameter in agricultural machinery considered only 4 axes, disregarding what happens around the machine. The aim of this work was to use the geostatistics to map and characterize the spatial variability magnitude of the noise emitted by a walking tractor, to identify salubrious areas to workers. The experiment was developed on

Technical College of the Rural Federal University of Rio de Janeiro. It was used an agricultural walking tractor (10.3 kW) working in operational rotation (2400 rpm) and linked to a rotary brush cutter. It was used a digital noise meter to collect the noise levels at points distributed on a regular sampling grid of 2.0 x 2.0 m around the tractor. The noise spatial dependence was evaluated by semivariogram adjusts and krigging interpolation. It was possible to characterize the structure and magnitude of the spatial dependence of noise levels emitted by the tractor as well as map the spatial distribution. It was observed noise levels above the limit of 85 dB (A) for 8 hours daily exposure in the operator`s station and around the machine.

**KEYWORDS:** Acoustic Comfort, Agricultural Machinery, Spatial Variability, Ergonomics

## INTRODUÇÃO

Na agricultura familiar é frequente o emprego de tratores de rabiça como fonte de potência, podendo ser uma ferramenta para otimizar o trabalho. Este modelo de trator torna possível abranger uma maior área em menor tempo comparado com os trabalhos que utilizam a fonte de tração animal (MORAIS et al. 2009). Trata-se de um veículo de menor porte, ágil e com capacidade para minimizar o problema da escassez de mão-de-obra (RODRIGUES et al., 2006). Devido a sua simplicidade de operação, não raro, os cuidados com a segurança no uso dos microtratores são ignorados, seja por parte dos operadores ou fabricantes, o que pode comprometer sobremaneira a saúde dos operadores em geral (BAESSO et al., 2008).

O som é a variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo e ruído é um som sem harmonia, em geral de conotação negativa, ou seja, que na maioria das vezes pode ser classificado como um som indesejável (BISTAFA, 2006). Agentes físicos como ruído, calor, vibrações, pressões e radiações e agentes químicos como fumo, poeira, gases, vapores são alguns dos estressores ambientais encontrados em vários locais de trabalho. Eles alteram o funcionamento de todo o organismo e o sono, aumentam a sensibilidade aos agentes estressores ambientais e, conseqüentemente, aumentam o risco de acidentes de trabalho. Combinados, esses estressores podem ter uma série de efeitos sobre a saúde e bem-estar dos trabalhadores (FERNANDES & MORATA, 2002).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui algumas normas sobre medições de ruído em máquinas agrícolas, sendo as principais a NBR-9999 (ABNT, 1987) e a NBR 10400 (ABNT, 1988). A Norma NB 95 (ABNT, 1987) estabelece os níveis máximos de ruído que permitem o mínimo de conforto aos ocupantes de um ambiente. O máximo estabelecido é de 85 dB (A), e acima desse limite o ruído, além de perturbar as atividades humanas, pode causar sérios danos à audição. Para o ruído contínuo ou intermitente, a NR-15 (Norma Regulamentadora 15, 1990), estabelece que, para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos, não é permitida a exposição a níveis de ruído acima de 115 dB (A), além disto esta norma estabelece o tempo o qual uma pessoa pode estar exposta a cada nível de ruído.

ARCOVERDE et al. (2011) ressaltam a importância dos estudos sobre níveis de ruído em operações agrícolas para as necessidades reais de adotar medidas de prevenção, conforto e segurança como o uso e a utilização de equipamentos de proteção individual, conhecidos como protetores auriculares, para minimizar os ruídos.

Ressalta-se que a maioria dos trabalhos realizados para avaliar o ruído produzido por máquinas agrícolas apenas consideraram os seus efeitos no operador sem considerar que o ruído produzido por estas máquinas se propaga, o que pode afetar, também, os demais trabalhadores envolvidos na operação. Os trabalhos que se preocuparam com esta propagação, levam em consideração apenas os quatro eixos (frontal, traseiro, lateral direito e lateral esquerdo), desconsiderando todo o entorno da máquina.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho, utilizar a geoestatística para mapear e caracterizar a magnitude da variabilidade espacial do ruído emitido por um trator de rabiça, visando identificar zonas de salubridade para os trabalhadores.

## MATERIAL E MÉTODOS

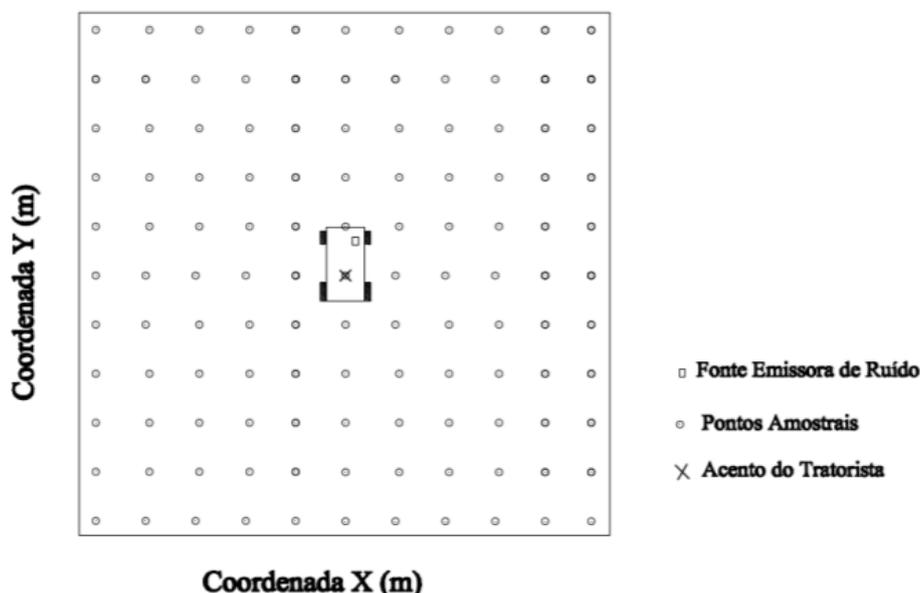
O experimento foi desenvolvido no Colégio Técnico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (CTUR), Seropédica-RJ. Neste estudo foi avaliado o trator de rabiça Tobatta acoplado à uma roçadora, com potência nominal de 10kW (14cv) e rotação de 1500 rpm na qual foi utilizada para o acionamento da roçadora (FIGURA 1).



**FIGURA 1.** Trator de Rabiça utilizado nas medições da emissão do nível de ruído

Os níveis de ruído foram determinados utilizando medidores de pressão sonora no circuito de resposta lenta e de equalização “A”, expressos em dB (A), sendo que o protetor de ventos deste medidor foi utilizado em todas as medições. As avaliações do nível de ruído desta máquina agrícola foram realizadas conforme metodologia descrita na NBR-9999 (ABNT, 1987) em que a temperatura ambiente esteve entre -5 e 30° C e a velocidade do ar foi inferior a 5,0 m.s<sup>-1</sup>. No dia do experimento a velocidade do vento e a temperatura eram de 2,6 m.s<sup>-1</sup> e 26,0°C, respectivamente, atendendo as solicitações da norma.

As leituras foram realizadas na altura média do ouvido do operador, em pontos distribuídos numa malha amostral regular de 2m x 2m, num total de 121 pontos amostrais, ao redor da máquina agrícola em operação, conforme exemplificado na FIGURA 2. Foi arbitrada uma coordenada espacial em metros onde o ponto central (0, 0) correspondeu ao local onde a máquina agrícola permaneceu em regime de operação durante toda a coleta. O ponto central (0, 0) corresponde ao acento do operador (FIGURA 2).



**FIGURA 2.** Distribuição dos pontos amostrais dos níveis de ruído emitido pelo trator de rabiça

A dependência espacial do ruído produzido pelo trator de rabiça em operação foi analisada por meio de ajuste de semivariograma clássico pelo método dos Mínimos Quadrados ordinários e pelo modelo esférico. O semivariograma clássico será estimado pela equação 1:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

onde  $N(h)$  é o número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  separados por uma distância  $h$ . O semivariograma é representado pelo gráfico  $\hat{\gamma}(h)$  versus  $h$ . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de  $\hat{\gamma}(h)$ , são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma denominado de efeito pepita,  $C_0$ ; patamar,  $C_0 + C_1$ ; e o alcance, conforme descrito por VIEIRA et al. (1983).

Para a análise geoestatística e para a plotagem dos mapas de isolinhas, foi utilizado sistema computacional estatístico R, por meio do pacote geoR (RIBEIRO Jr. & DIGGLE, 2001).

Para a avaliação dos mapas visando à observação dos níveis de salubridade aos trabalhadores de forma a se definir zonas de salubridade, será utilizado os valores preconizados pela NR 15 (1990) (TABELA 1).

**TABELA 1.** Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.

Nível de Ruído dB (A)	Máxima Exposição diária Permissível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos valores mínimos e máximos, do coeficiente de variação e também da média dos ruídos emitidos pelo trator de rabiça (TABELA 2), é possível perceber que existe uma variação nos dados, porém somente com esta análise não se pode afirmar onde ocorrem os maiores ou os menores valores de ruído emitido pelo trator, necessitando, assim, de estudos geoestatísticos.

**TABELA 2.** Estatística descritiva da ruído emitido por um trator de rabiça

Mín	Máx	$\bar{x}$	Md	DP	Var	CV	K
73,5	96,5	80,10	79,30	4,467	19,951	5,6	1,267

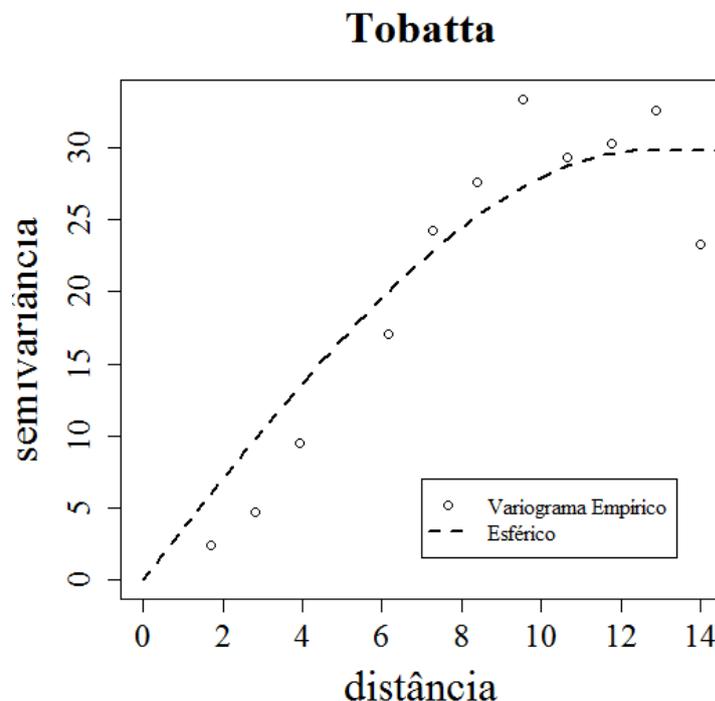
Mín – valor mínimo da variável; Md – Mediana;  $\bar{x}$  – Média; Máx – Valor máximo da variável; DP - Desvio Padrão; Var – Variância; CV- Coeficiente de Variação (%); K – Coeficiente de Curtose

Os resultados da análise geoestatística dos níveis de ruído emitidos pelo trator de rabiça podem ser observados na TABELA 3. O semivariograma e seus parâmetros (efeito pepita,  $C_0$ ; contribuição,  $C_1$ ; patamar,  $C_0+C_1$ ; e alcance,  $a$ ) foram obtidos pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (OLS - *ordinary least square*) e pelo modelo esférico (FIGURA 3). Ainda nesta figura, pode-se perceber que o alcance da distribuição espacial do ruído foi de 12,72m, o que implica dizer que até esta distância a variável em estudo é influenciada pelo espaço.

**TABELA 3.** Método, Modelo e parâmetros estimados do semivariograma experimental para o nível de ruído emitido por um trator de rabiça

Método	Modelo	$C_0$	$C_1$	$C_0+C_1$	A	EM	$DP_{EM}$	ER	$S_{ER}$
OLS	Esférico	0.0000	29.8805	29.8805	12.7186	-0.012760	0.7514558	-0.002473	0.3162902

$C_0$  – Efeito Pepita;  $C_1$  - Contribuição;  $C_0+C_1$  – Patamar;  $a$  - alcance; EM - Erro Médio;  $DP_{EM}$  - Desvio Padrão do Erro Médio; ER - Erro Médio Reduzido;  $S_{ER}$  Desvio Padrão dos Erros Médios Reduzidos; REML – Máxima Verossimilhança Restrita; OLS - Mínimos Quadrados Ordinário.”

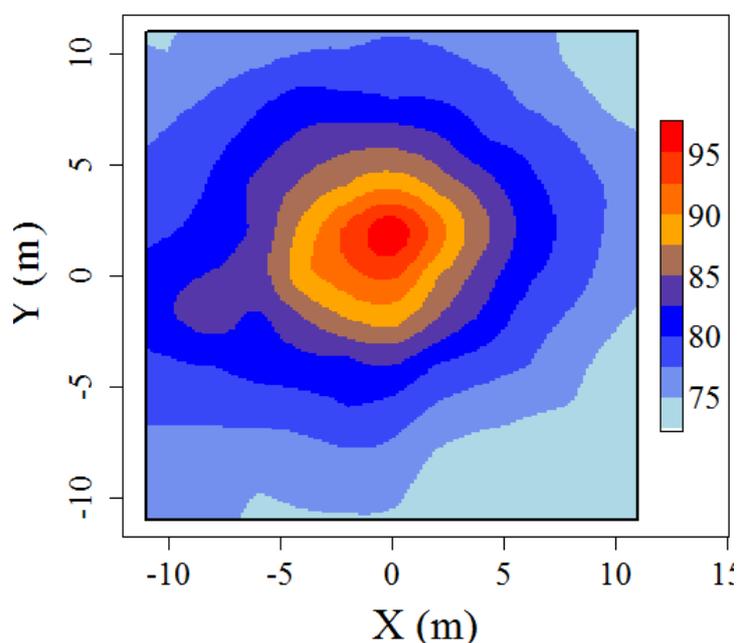


**FIGURA 3.** Semivariograma do ruído emitido pelo trator de rabiça

Observa-se na FIGURA 4 que os valores alarmantes do ruído emitido pelo trator Tobatta, acima de 85 dB(A), para exposição diária de 8h (NR 15, 1990), são visualizados ao redor do trator em regime de operação, em geral, até 4 metros de distância na parte traseira, 5 metros na lateral direita, 6 metros na parte frontal e quase 10 metros na lateral esquerda da máquina, que é onde o escape dos gases do motor está localizado.

Observa-se também que no centro do mapa (0,0), onde o operador se posiciona, o nível de ruído medido foi de 92,2 dB (A), sendo representada pela coloração vermelha, no qual, segundo os valores preconizados pela NR 15 (1990), tem-se uma máxima exposição diária permissível de 3 horas sem o uso de dispositivos de proteção auricular, durante sua execução (TABELA 1).

O valor máximo de ruído, 96,5 dB (A) (TABELA 2), foi observado no ponto (0,2), que foi a medida realizada próxima ao motor do trator (fonte emissora de ruído), representado pela cor vermelha do mapa, assim tem-se uma máxima exposição diária permissível de 1 hora e 45 minutos (TABELA 1).



**FIGURA 4.** Mapa da distribuição espacial do ruído emitido pelo trator de rabiça

Observou-se, ainda na FIGURA 4, que quanto mais distante do trator, mais a coloração das manchas se torna azuladas, sinalizando o decréscimo do nível de ruído, assim tornando-se mais apropriado aos trabalhadores e não necessitando da obrigatoriedade do uso de EPI. Porém, recomenda-se mesmo assim que todos os trabalhadores envolvidos na operação desta máquina utilizem EPI. O valor mínimo de ruído produzido por este trator foi da ordem de 73,5dB (A) (TABELA 2) observado no ponto (4, -10), ou seja, o mais distante da fonte emissora.

Segundo Norma NB 95, quando uma pessoa é submetida a níveis altos de ruído, existe a reação de todo o organismo a esse estímulo podendo ter reflexos em aspectos fisiológicas, bioquímicas e cardiovasculares, que podem também ser refletidos no comportamento psicológico do indivíduo. Além de outros efeitos não auditivos como: alterações fisiológicas na frequência cardíaca e na pressão sanguínea, alterações do sono, transtornos digestivos, vestibulares, neurológicos e comportamentais diversos, como irritação, cansaço, diminuição na produtividade, intolerância a ruídos, angústia, ansiedade, depressão e estresse (SELIGMAN, 1997; VIEIRA, 1997).

FERNANDES & MORATA (2002) ao estudar níveis de ruídos em máquinas agrícolas, observaram que houve uma situação de extremo desconforto para o operador do trator, onde os

trabalhadores expostos a este risco queixam-se de perda auditiva e zumbido, e de vários outros sintomas como cefaleia, nervosismo, problemas de estômago.

Como os níveis de ruídos estão muito acima da legislação e excedendo os limites da norma, tem-se uma situação de insalubridade para o operador e o trabalhador da operação agrícola, logo há a necessidade de adotar medidas de prevenção, conforto e segurança como a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI) a fim de prevenir os danos nocivos citados acima.

HERSHMAN et al. (2004), afirmam que os protetores auriculares internos reduzem o ruído entre 26 e 33 dB e abafadores reduzem o ruído entre 21 e 31 dB. Quando usados juntos reduzem 3 a 5 dB extras. NIOSH (1998) afirma que um protetor que atenua 30 dB(A) em oito horas de exposição atenuará apenas 15 dB(A) se o trabalhador deixar de usá-lo por um período cumulativo de 30 minutos durante um dia de oito horas de trabalho.

Como o operador e o trabalhador de apoio para operação agrícola do trator avaliado estarão sujeitos aos efeitos nocivos do ruído emitido por esta máquina, é recomendado o uso de protetor auricular, ou seja, equipamento de proteção individual (EPI), afim de evitar danos à saúde.

## CONCLUSÕES

Foi possível caracterizar a estrutura e a magnitude da dependência espacial dos níveis de ruído bem como realizar o mapeamento de sua distribuição espacial.

Os níveis de ruído encontrados neste experimento utilizando um trator de rabiça com roçadora ligada excederam os valores encontrados na norma regulamentadora. Sendo assim, conclui-se que, tanto o operador da máquina, quanto as pessoas que estiverem presentes ao redor do trator, dentro de um raio de 10 metros da fonte emissora, estarão submetidos aos efeitos nocivos à saúde causados pela exposição ao ruído.

Dessa maneira, recomenda-se também a utilização de protetores auriculares para os operadores de trator de rabiça.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 9999 – **Medição do Nível de Ruído, no Posto de Operação de tratores e Máquinas Agrícolas**. 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Níveis de ruído aceitáveis**: NBR 10152 (NB-95). Rio de Janeiro, 1987. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tratores Agrícolas: Determinação das Características Técnicas e Desempenho**: NBR 10400. Rio de Janeiro. 1988.
- ARCOVERDE, S. N. S.; CORTEZ, J. W.; PITANGA JÚNIOR, C. DE O.; HIDEO DE JESUS NAGAHAMA, H. DE J. **Nível de ruído emitido por conjuntos mecanizados em função da velocidade e da condição do solo**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v.6, n.3, p.514-520, jul.-set, 2011.
- BAESSO, M. M.; TEIXEIRA, M. M.; RODRIGUES JUNIOR, F. A.; MAGNO JUNIOR, R. G.; FERNANDES, H. C. **Avaliação do nível de ruído emitido por um conjunto trator-pulverizador com e sem assistência de ar**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v. 16, n. 4, p. 400-407, out./dez. 2008.
- BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 368 p.
- FERNANDES, M.; MORATA, T. C. **Estudo dos efeitos auditivos e extra-auditivos da exposição ocupacional a ruído e vibração** Rev Bras Otorrinolaringol. v.68, n.5, 705-13, set./out. 2002.
- HARSHMAN, W.C.; YODER, A. M.; HILTON, J. W.; MURPHY, D.J. – **HOSTA-Hazardous Occupations Safety Training in Agriculture**. 4ed. National Safe Tractor and Machinery Operation Program, The Pennsylvania State University, 2004.

MORAIS, C. S. et al. **Avaliação do nível de ruído de um trator de rabiça utilizando dosímetro.** XVIII Congresso de Iniciação Científica, o XI Encontro de Pós-graduação e I mostra científica – Universidade Federal de Pelotas. 2009.

NIOSH – Criteria for a Recommended Standard: Occupational Noise Exposure. [www.cdc.gov/niosh](http://www.cdc.gov/niosh).

NORMAS Regulamentadora de segurança e saúde no trabalho (NR-15): **atividades e operações insalubres.** Brasília, 1990. Disponível em:

<[http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812DF396CA012E0017BB3208E8/NR-15%20\(atualizada\\_2011\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812DF396CA012E0017BB3208E8/NR-15%20(atualizada_2011).pdf)> Acesso em: jan. 2014.

RIBEIRO JUNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R-News**, New York, v. 1, n. 2, p. 14-18, June 2001.

RODRIGUES, D. E.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J.; RODRIGUES, G. J. Desempenho de um microtrator utilizando-se motores com diferentes alternativas energéticas. *Acta Science Technology*, Maringá, v. 28, n. 1, p. 55-63, 2006.

SELIGMAN, J. – Sintomas e Sinais na PAIR. In: NUDELMANN, A\_A\_; COSTA, E.A\_; SELIGMAN, J.; IBAÑEZ, R.N. – **PAIR: perda auditiva induzida pelo ruído.** Porto Alegre, Bagagem Comunicação, 1997. p.77-100.

VIEIRA, M.L.R. – **A gestante exposta ao ruído do ambiente de trabalho: descrição dos efeitos auditivos e não-auditivos.** São Paulo, 1997. [Tese Mestrado - Pontifícia Universidade Católica].

VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-7, 1983.