



# AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO TRANSMITIDOS AO CORPO HUMANO POR UM TRATOR AGRÍCOLA

Roger Oliva Felix<sup>1</sup>, Victor Manieri Schutzer<sup>2</sup> & João Eduardo Guarnetti dos Santos<sup>3</sup>

**RESUMO:** O estudo teve como objetivo analisar os níveis de vibração transmitidos ao corpo humano por um trator agrícola, buscando adequar-se aos aspectos ergonômicos. Para realização dessa análise foi necessário um instrumento de medição (acelerômetro), que realiza a aquisição de dados mostrando a aceleração resultante no assento do operador. Os resultados obtidos mostraram situações em que os níveis de vibração estão além do recomendado, possibilitando, dessa forma, uma oportunidade de melhoria referente aos níveis de vibração, com o intuito de isolar os níveis de vibração transmitidos ao operador e de adequar ou aproximar os níveis de vibração satisfatórios, conforme a norma descritiva sobre vibrações de corpo inteiro.

**PALAVRAS-CHAVE:** ergonomia de produto, tratores agrícolas, análise experimental em máquinas agrícolas.

## EVALUATION OF VIBRATION LEVELS TRANSMITTED BY AN AGRICULTURAL TRACTOR TO HUMAN BODY

**ABSTRACT:** The study objective to analyze the levels of vibration transmitted to the human body by an agricultural tractor, seeking to adapt to the ergonomic aspects. For It was necessary an instrument of measuring that performs the seat acceleration data collection. The obtained results showed situations in which the levels of vibration are above of the recommended. Thus, there is an opportunity of improvement, as to isolate the levels of vibration transmitted to the operator, as to adapt the levels of satisfactory vibration according to the standard of whole body vibrations.

**KEYWORDS:** ergonomics of product, agricultural tractors, experimental analysis in agricultural machinery.

## 1 INTRODUÇÃO

A operação de tratores agrícolas é uma atividade que possui dois fatores: o homem (operador) e a máquina (trator). Estes dois fatores se interagem, formando o sistema homem-máquina (GRANDJEAN, 1998; IIDA, 2005; MURRELL, 2012). A eficiência com que o sistema homem-máquina executa suas tarefas depende de diversos fatores, na qual a ergonomia de produto age sobre estes fatores, buscando aperfeiçoá-los para aumentar a qualidade da operação das máquinas agrícolas, de modo a favorecer o trabalhador. Murrell (2012) mostra alguns fatores, entre os quais se destacam no domínio da operação de tratores agrícolas as condições ambientais do posto de trabalho, que são: temperatura, luz e umidade do ar; também outros como ruído e vibração.

Bovenzi e Betta (1996), Mehta e Tewari (2000), Yadav e Tewari (1998) mostram que o trabalho estático provoca fadiga muscular, o que aumenta a probabilidade de ocorrência de acidentes de trabalho, além de aumentar o surgimento de doenças ocupacionais no operador, como

lombalgias e aparecimento de hérnia de disco. Assim, é importante que as condições ambientais no posto de operação dos tratores agrícolas sejam controladas. Portanto, já foram desenvolvidos sistemas que permitem isolar o operador do calor produzido pelo motor e pela transmissão do trator, bem como daquele oriundo dos raios solares, como exemplo, o toldo solar refletivo. Porém, o controle mais adequado e mais utilizado é aquele proporcionado por uma cabina. As cabinas auxiliam para a redução dos níveis de ruído e vibrações (FEBO; PESSINA, 1995; MÁRQUEZ, 1990; SCHLOSSER, 2001).

A grande preocupação dos ergonomistas de produtos é a atividade de operação desses tratores, com isso estão sendo analisados fatores e princípios que comprometam a saúde dos operadores. Níveis elevados de ruídos e vibrações podem ter efeitos psicofisiológicos prejudiciais, inclusive aumentando o risco de acidentes (WICTOR; BAZZANELLA, 2012). De acordo com Baesso et al. (2015) o ruído e a vibração são os fatores ergonômicos mais prejudiciais aos operadores de tratores, mas existem poucos estudos que averiguaram suas consequências para a saúde ocupacional. A operação de tratores agrícolas que não possui um sistema homem-máquina eficaz prejudicará principalmente o operador por expô-lo a uma elevada carga física e mental. Isto resulta numa diminuição da eficiência, diminuindo a produtividade e o bom resultado do trabalho, do mesmo modo aumentando a ocorrência de erros de operação, acidentes e o desenvolvimento de doenças ocupacionais (LILJEDAHL et al., 1989; MÁRQUEZ, 1990; YADAV e TEWARI, 1998).

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Bauru. Mestrando em Engenharia Mecânica. E-mail: [roger.oliva.felix@hotmail.com](mailto:roger.oliva.felix@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Bauru. Mestrando em Engenharia Mecânica. E-mail: [victor\\_schutzer@hotmail.com](mailto:victor_schutzer@hotmail.com)

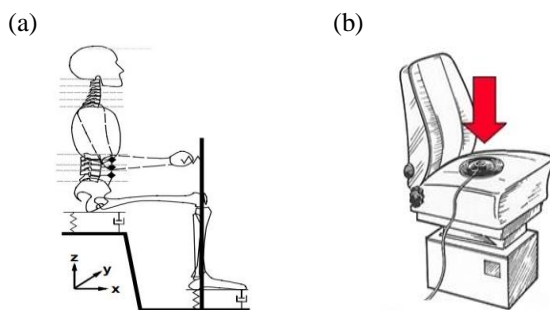
<sup>3</sup> Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Bauru. Docente do Departamento de Engenharia Mecânica. E-mail: [guarneti@feb.unesp.br](mailto:guarneti@feb.unesp.br)

Segundo Jain, Shrivastava e Mehta (2008), no caso de vibração é preciso reduzir os níveis que são transmitidos aos ocupantes, sendo que o assento é essencial para isso, devido à ausência de amortecedores e molas nos tratores. Para melhoria dos tais fatores, alguns procedimentos podem ser mencionados como: atenuação da intensidade da vibração na fonte, a diminuição do tempo de exposição ou o uso de equipamentos de proteção individual (EPI) no caso de ruídos (CUNHA; DUARTE; SOUZA, 2012).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para que a avaliação possa ser considerada dentro da normalidade é necessário seguir as seguintes normas: NHO-09 (norma de higiene ocupacional) que refere-se à norma nacional com autoria de Cunha e Giampoli (2013) e a norma (ISO, 1997) que corresponde a norma internacional. Para fins de avaliação, dependentemente da duração da jornada de trabalho, deve-se, portanto, determinar a aceleração resultante de exposição normalizada, dada por:

$$aren = are \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (1)$$



**Figura 1** - (a) eixos de coordenadas do sensor de medição (seat pad) no assento do trator (b) posição indicada para utilizar o sensor de medição no assento do trator.

Fonte: (a) Adaptado de Fritz, Fischer e Bröde (2005) e (b) Adaptado de Brüel e Kjaer (2009).

Na qual,  $aren$  é a aceleração resultante de exposição normalizada,  $are$  é a aceleração resultante de exposição,  $T$  é o tempo de duração da jornada diária de trabalho expresso em horas ou minutos e  $T_0$  é o tempo normal que um trabalhador fica exposto a vibração de um trator no posto de trabalho, ou seja equivalente a 8 horas. O resultado obtido através da Equação (1) é interpretado de acordo com o critério apresentando na Tabela 1.

**Tabela 1** - Critério de julgamento e tomada de decisão.

$aren$	Consideração técnica	Atuação recomendada
0 a 0.5	Aceitável	No mínimo manutenção da condição existente
>0.5 a <0.9	Acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas
0.9 a 1.1	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária.
Acima de 1.1	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

Fonte: CUNHA e GIAMPAOLI (2013)

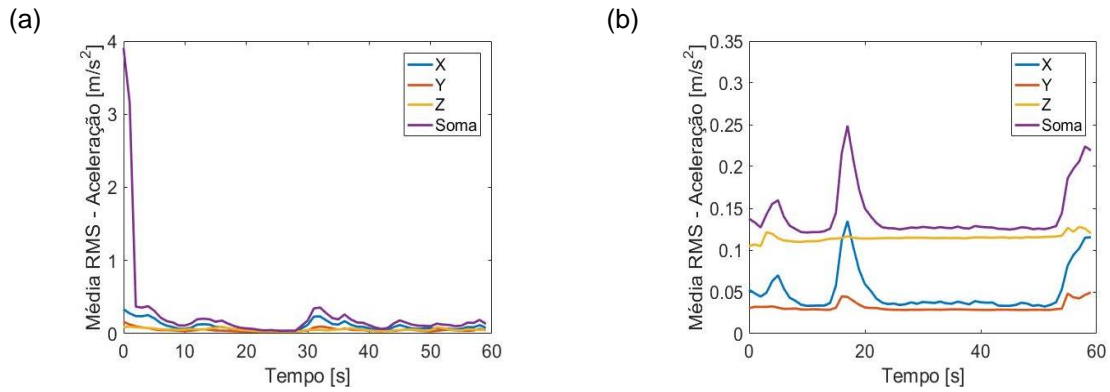
O trator utilizado para avaliação de vibração é do modelo *Massey Ferguson 290* e o instrumento utilizado para medição é o acelerômetro do modelo *HVM100* com o sensor de medição indicado para o assento do trator, como mostra a Figura 1-b, e a Figura 1-a mostra os eixos coordenados do *seat pad* (sensor de medição). De acordo com a especificação técnica desse trator, seu motor é da marca *Perkins* modelo *AE4236*, com quatro tempos, quatro cilindros com relação de compressão de 10:1, sistema de alimentação com carburador de fluxo descendente, aspiração natural, combustível álcool e massa total de 3250 kg entre eixo traseiro e dianteiro. Capaz de atingir uma potência máxima de 80 cv a 2200 rpm, possui um sistema de ignição eletrônica, com transmissão de 8 velocidades à frente e 2 velocidades à ré. Os aros utilizados são: 18x34 e 15x30 polegadas, sendo que a mudança de aros interfere na velocidade e na capacidade de tracionamento. Além disso, o trator em questão tem 200 litros de água em cada pneu traseiro e oito lastros sólidos de 25 kg cada na dianteira.

O sistema de aquisição de dados do acelerômetro informa a aceleração para cada coordenada e a aceleração da somatória das coordenadas, essas acelerações possuem valores em RMS (*root mean square*) e valores de pico, sendo que o tempo instantâneo de coleta de dados é a cada 1 segundo.

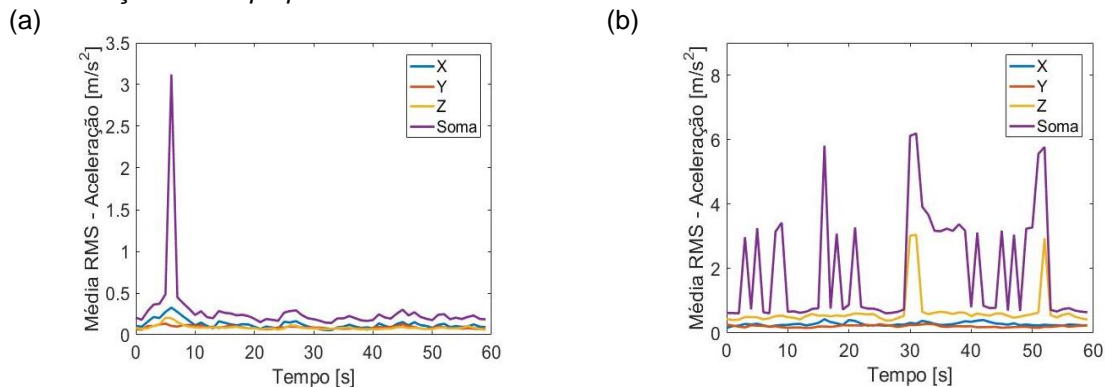
Foram realizadas quatro medições em quatro operações do trator, ou seja, quatro medições de um minuto cada para o trator em baixa rotação na condição estática (BRE), quatro medições de um minuto cada para o trator em rotação de trabalho na condição estática (RTE), quatro medições de um minuto cada para o trator em baixa rotação na condição dinâmica (BRD) e quatro medições de um minuto cada para o trator em rotação de trabalho na condição dinâmica (RTD). A rotação de trabalho do motor é de 2200 rpm e a velocidade de operação de 6,03 km/h. A condição da superfície de deslocamento encontrava-se em nivelamento e solo seco. Para cada operação foi realizada uma média aritmética simples do valor RMS das quatro medições.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados experimentais obtidos para os quatro tipos de operações do trator foram possíveis analisar os níveis de vibração transmitidos ao operador. As Figuras 2 e 3 correspondem aos resultados das operações.



**Figura 2** - (a) média RMS da aceleração em função do tempo para BRE (b) média RMS da aceleração em função do tempo para RTE.



**Figura 3** - (a) média RMS da aceleração em função do tempo para BRD (b) média RMS da aceleração em função do tempo para RTD.

### 3.1 DICUSSÃO QUANTITATIVA

Para as seguintes operações do trator BRE, BRD e RTE, os níveis de vibração *aren* permaneceram dentro do limite aceitável para tempo de exposição contínuo de 8 horas diárias. Os valores médios de RMS para essas operações são visualizados no tempo nas Figuras 2-a, 2-b e 3-a. No entanto, para a operação do trator RTD, como mostra a Figura 3-b, os valores de aceleração da média RMS excedem os limites aceitáveis considerando 8 horas de trabalho diário, em outros instantes, excedem o limite de incerteza, o que indica uma ação corretiva imediata no trator, alguns trabalhos científicos como Cunha et al. (2012), Miyajima et al. (2016) e Sandi et al. (2016) comprovam essa metodologia para encontrar os níveis de vibração e se adequar ao recomendado conforme as normas específicas.

Os pontos atípicos (outliers) foram encontrados nas condições estáticas e dinâmicas, provavelmente para condições estáticas, estão relacionados à variação do ciclo motor e manuseio do instrumento de medição, já nas condições dinâmicas tem a irregularidade do solo e movimento do operador, esses pontos correspondem aos picos nos gráficos temporais, nos quais tem uma alta discrepância em relação a todas as amostras temporais. Sendo assim, nas condições BRE e RTE, mostradas na Figura 4-a, e nas condições BRD e RTD, mostradas na Figura 4-b, observa-se que os pontos atípicos encontrados são poucos, considerando as amostragens efetuadas.

### 3.2 DICUSSÃO QUALITATIVA

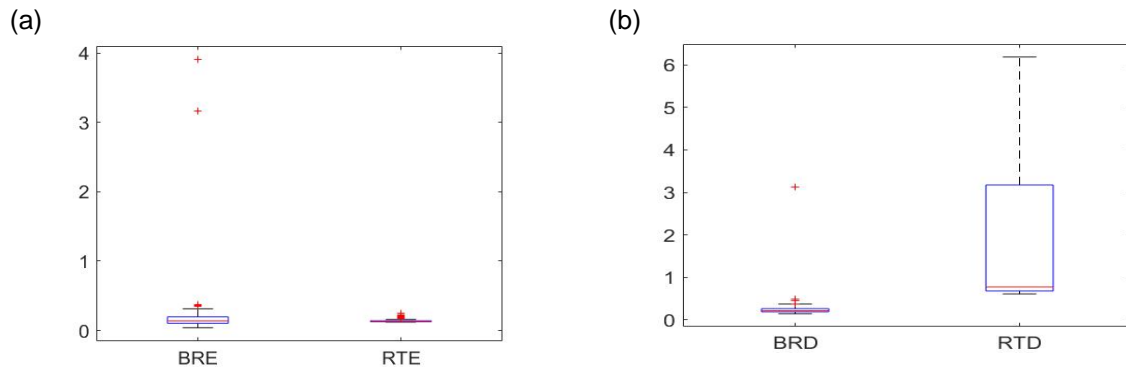
De acordo com os resultados obtidos e discussão quantitativa realizada, pode-se notar que, neste caso, seguindo a norma técnica, deveriam ser tomadas algumas medidas corretivas imediatas, dependendo do tipo de operação e algumas medidas preventivas para diminuir o nível de vibração da estrutura, de modo a não prejudicar o trabalhador no posto de trabalho. Uma das primeiras oportunidades de melhoria foi encontrada, justamente, no posto de trabalho, ou seja, no assento do operador da máquina, como mostra a Figura 5-a. Neste caso, devido à alta utilização e a falta de proteção da cabina para chuvas, sol e outros fatores climáticos, o assento estava bastante deteriorado, assim deveria ser reconstruído desde a sua base, utilizando materiais mais resistentes e que absorvam as vibrações geradas pela máquina, sem que esses sejam repassados ao operador. Portanto, deve-se refazer o estofado, inserindo camadas de espuma viscoelástica e de preferência um acabamento de couro ecológico, para manter o estofamento preservado por um maior tempo. Pinho et al. (2014) obtiveram uma ótima melhoria na redução de vibração com a fixação de coxim na parte inferior do assento.

Outra oportunidade de melhoria seria isolar o máximo possível à vibração do motor, claramente observada pela abertura ao redor da maior fonte de vibração, ou seja, vibração provinda do motor quatro tempos. Os motores são desenvolvidos com peças mais robustas e por isso, a movimentação dessas peças gera um alto nível de

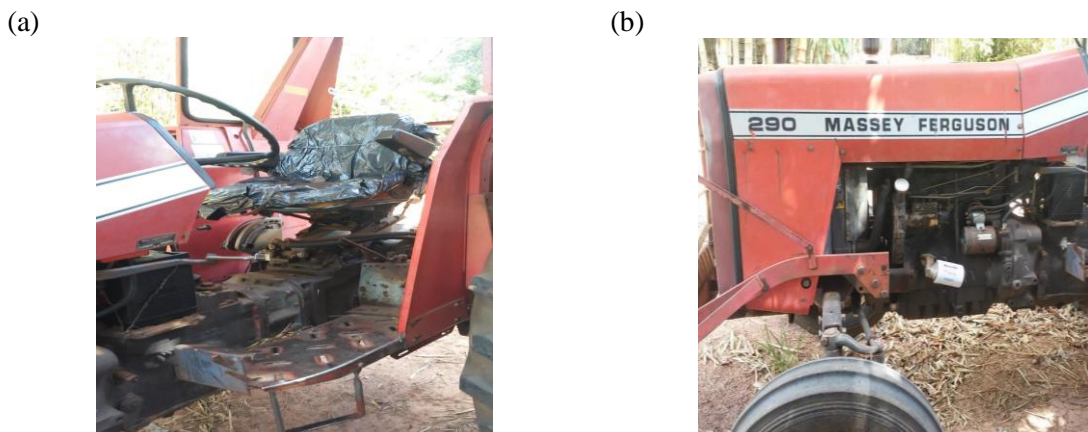
vibração, também transformando em ruídos, que apesar de não avaliados nesse trabalho, também são prejudiciais ao operador, essa abertura é mostrada na Figura 5-b.

Uma cabível solução para redução do nível de vibração neste caso seria a mudança da fixação da superfície de apoio dos pés, no qual atualmente é acoplada na região frontal do trator, pois essa vibração gerada pelo motor é transmitida diretamente aos pés do operador, caso essa superfície de apoio fosse acoplada somente na parte traseira, essa vibração poderia diminuir, já que ao redor do assento não tem grandes fontes de vibração, considerando o trator na condição sem o implemento.

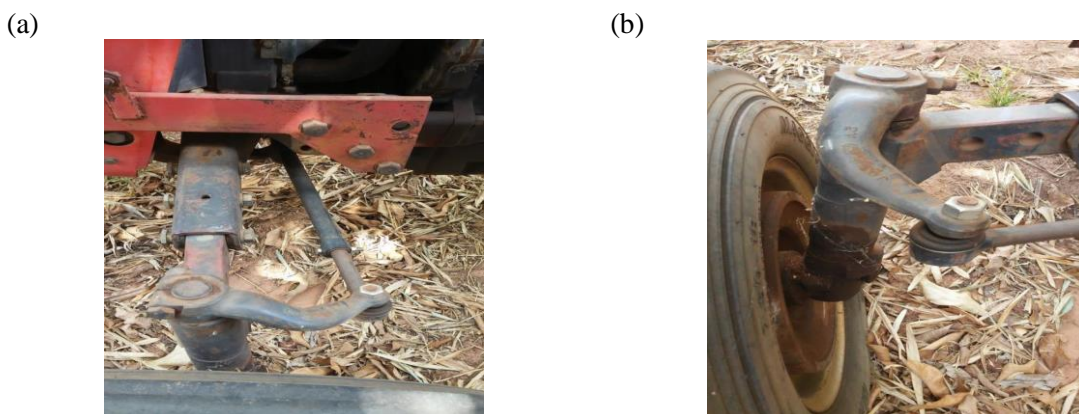
Por fim, o sistema de rodado não possui nenhum tipo de suspensão, somente um sistema de eixos, porém sem nenhum tipo de amortecimento de vibração ou impactos provindos do solo, mostrado na Figura 6. Neste caso, apesar de elevar o custo de produção, seria interessante desenvolver um sistema de suspensão, principalmente pensando no tipo de trabalho executado, muitas vezes com solos nos quais estão presentes buracos e relevos, gerando impactos extremamente danosos à máquina e ao operador, principalmente nas costas do operador. Com a inclusão de molas ou de materiais que absorvam a vibração no sistema rodado já serviriam de melhorias, mesmo que o sistema de suspensão completo não fosse desenvolvido devido ao alto custo.



**Figura 4** - (a) estatística descritiva com boxplot mostrando a variação dos dados para BRE e RTE (b) estatística descritiva com boxplot mostrando a variação dos dados para BRD e RTD.



**Figura 5** - (a) assento do operador (b) abertura ao redor do motor.



**Figura 6** - (a) eixo direcional com vista superior (b) eixo direcional com vista lateral.

## 4 CONCLUSÕES

Através da análise de vibração realizada no trator, nota-se que possui somente uma condição desfavorável, a condição RTD, na qual apresenta níveis de vibração elevados. Assim considerando um período de trabalho de 8 horas diárias será necessário adotar medidas corretivas imediatamente, nas quais foram descritas com o intuito de isolar as vibrações transmitidas no operador. Com a discussão qualitativa apresentada, será uma oportunidade de melhoria para isolamento de vibrações, assim conseguiria adequar ou aproximar dos níveis de vibração satisfatórios para enfatizar os aspectos ergonômicos.

## 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP pela disponibilização do trator para realização científica.

## 6 REFERÊNCIAS

BAESSO, M. M. et al. Ergonomic evaluation of vibration and noise emissions of agricultural tractors

based on power and working time. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 58, n. 5, p. 1177-1184, 2015.

BOVENZI, M.; BETTA, A. low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole-body vibration and postural stress. **Journal of Safety Research**, Oxford, v. 27, n. 3, p. 196-197, 1996.

BRÜEL e KJAER **Human Vibration Analyzer Type 4447**. Naerum, Denmark, 2009. p. 100.

CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, V. M. A.; SOUZA, C. M. A. Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas. **Idesia**, Arica, v. 30, n. 1, p. 25-34, 2012.

CUNHA, I. A.; GIAMPAOLI, E. **NHO 09**: procedimento técnico. Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro. São Paulo: Fundacentro, 2013.

FEBO, P.; PESSINA, D. Survey of the working condition of used tractors in Northern Italy. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 62, n. 3, p. 193- 202, 1995.

FRITZ, M.; FISCHER, S.; BRÖDE, P. Vibration induced low back disorders-comparison of the vibration evaluation according to ISO 2631 with a force-related evaluation. **Applied Ergonomics**, Oxford, v. 36, n. 4, p. 481-488, 2005.

GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia**. 4. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

IIDA, I. **Ergonomia**: projeto e produção. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Mechanical vibration and**

**shock; evaluation of human exposure to whole body vibration in the working environment; part 1 general requirements. ISO2631-1**. Geneva, 1997.

JAIN, K. K.; SHRIVASTAVA, A. K.; MEHTA, C. R. Analysis of selected tractors for seating dimensions in laboratory. **Agricultural Engineering International**, Gainesville, v. X, n. 1, p.1-10, 2008.

LILJEDAHL, J. B. et al. **Human factors in tractor design. Tractors and their power units**. Springer, 1989. p. 203-204.

MÁRQUEZ, L. **Solo tractor 90**. Madrid: Editorial Laboreo, 1990.

MEHTA, C. R.; TEWARI, V. K. Seating discomfort for tractor operators-a critical review. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Amsterdam, v. 25, n. 6, p. 661-674, 2000.

MIYAJIMA, R. H. et al. Verificação de variáveis ergonômicas (ruído e vibração) em tratores agrícolas submetidos a três superfícies de rolamento. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ERGONOMIA APLICADA, 1., 2016, Recife. **Anais...** Blucher Engineering Proceedings, Recife, v. 3, n. 3, p. 743-749, 2016.

MURRELL, K. **Ergonomics: man in his working environment**. Springer Science & Business Media, 2012.

PINHO, M. S. et al. Efetividade de um coxim de cabina do trator agrícola na atenuação das vibrações. **Revista de Ciências Agrônômicas**, Lourenço Marques, v. 45, n. 3, p. 461-468, 2014.

SANDI, J. et al. Vibração mecânica em um trator agrícola ensaiado em pista padronizada. **Energia na agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 3, p. 215-222, 2016.

SCHLOSSER, J. F. **Tratores agrícolas**. Santa Maria: UFSM, 2001.

WICTOR, I. C.; BAZZANELLA, S. L. Avaliação ergonômica do nível de ruído e as causas de acidentes de trabalho em empresas madeireiras. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 9., Resende, 2012.

YADAV, R.; TEWARI, V. K. Tractor operator workplace design: a review. **Journal of Terramechanics**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 41- 53, 1998.