



## DESENVOLVIMENTO DE UM ARTEFATO PARA ATENUAÇÃO DA VIBRAÇÃO DE CORPO INTEIRO EM TRATORES AGRÍCOLAS

Enio Costa<sup>1</sup>, Leonardo de Almeida Monteiro<sup>2</sup>, Viviane Castro dos Santos<sup>3</sup>, Deivielison Ximenes Siqueira Macedo<sup>4</sup> & Thiago de Norões Albuquerque<sup>5</sup>

**RESUMO:** A utilização de tratores na agricultura é um elemento chave no aumento da produtividade e da qualidade da produção agrícola, pois é capaz de executar as operações em menos tempo, com mais eficiência e diminuição dos custos de produção. Apesar dos tratores proporcionarem aumento na produtividade, o seu uso pode ser danoso ao operador de máquinas agrícolas, que ao utilizar o trator está exposto a problemas como a vibração. Com o passar dos anos o peso dos tratores agrícolas sem lastro diminuiu devido ao desenvolvimento de materiais mais leves e cada vez mais as velocidades de deslocamento aumentam, o que pode causar o aparecimento de maiores doses de vibração o que gera mais problemas de saúde ao operador. O trabalho teve como objetivo desenvolver um artefato para atenuar as vibrações de corpo inteiro (VCI) a qual o operador de tratores agrícolas está exposto. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, onde foram avaliados três tratamentos, sendo utilizados dois materiais atenuantes sobre o assento (espuma viscoelástica e micropérolas de poliestireno) e o assento sem atenuação (tratamento controle). Foram feitas parcelas com leituras de 3 min, sendo que a cada 10 s é coletada uma amostra totalizando 18 amostras coletadas por cada repetição, sendo que serão realizadas 5 repetições para cada tratamento. Para análise estatística dos dados foi utilizado o software estatístico ASSISTAT. Para verificar a normalidade dos dados, foi realizado o teste Anderson-Darling. Após comprovada a normalidade dos dados, os mesmos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e quando significativas, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. De acordo com os resultados obtidos a espuma viscoelástica e as micropérolas de poliestireno apresentaram valores de VDVR e aren inferiores ao assento e dentro do nível aceitável estabelecido pela NR-15 o que caracteriza os materiais utilizados como aptos para atenuação. Ambos os materiais utilizados apresentaram atenuação semelhante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Atenuação, Transmissibilidade, Vibração Ocupacional.

### DEVELOPMENT OF AN ARTIFACT TO ATTENUATE WHOLE-BODY VIBRATION IN AGRICULTURAL TRACTORS

**ABSTRACT:** The use of tractors in agriculture is a key element in increasing productivity and quality of agricultural production, as it is able to perform operations in less time, more efficiently and decrease production costs. Although tractors provide increased productivity, their use can damage the machine operator health, that is exposed to problems such as vibration when using the tractor. Over the years, the weight of agricultural tractors without ballast has decreased due to the development of lighter materials and increase in displacement speeds, what can cause vibration and increase operator health problems. The objective of the work was to develop an artifact to attenuate the whole body vibrations (VCI) to which the agricultural tractor operator is exposed. The experimental design was completely randomized, in which three treatments were evaluated, using two attenuating materials on the seat (viscoelastic foam and polystyrene microbeads) and one without attenuation (control treatment). Readings were taken with 3 min of duration, and every 10 s a sample was collected totaling 18 samples collected for each repetition, with 5 replicates for each treatment. Statistical analysis of the data was performed using ASSISTAT statistical software. To verify the normality of the data, the Anderson-Darling test was performed. After the normality of the data was confirmed, they were submitted to analysis of variance by the F test, and when significant, the means were compared by the Tukey test, at 5% significance. According to the results obtained, the viscoelastic foam and the polystyrene micro-beads presented VDVR and lower aren values, within the acceptable level established by the NR-15, which characterizes the materials used as good alternative attenuation. Both materials used showed similar attenuation.

**KEYWORDS:** Mitigation, Occupational Vibration, Transmissibility.

### 1 INTRODUÇÃO

Com a evolução da agricultura cada vez mais se faz necessário o uso de tratores agrícolas no processo produtivo, principalmente com a intenção de aperfeiçoar e

<sup>1</sup> Professor Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará-IFCE, [enio@ifce.edu.br](mailto:enio@ifce.edu.br)

<sup>2</sup> Professor Doutor, Universidade Federal do Ceará-UFC, Departamento de Engenharia Agrícola .E-mail: [aiveca@ufc.br](mailto:aiveca@ufc.br)

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará-UFC, Depto. de Engenharia Agrícola. E-mail: [vihcs@live.com](mailto:vihcs@live.com)

<sup>4</sup> Professor Doutor, Faculdade Terra Nordeste - FATENE. E-mail: [derilsiqueira@hotmail.com](mailto:derilsiqueira@hotmail.com)

<sup>5</sup> Mestre em Tecnologia em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará-IFCE. E-mail: [thiago.noroes12@hotmail.com](mailto:thiago.noroes12@hotmail.com)

maximizar a produção, seja no preparo da área, implantação da cultura ou colheita da produção. Porém, a utilização inadequada dessas máquinas pode causar alguns problemas (MACEDO et al., 2015), como acidentes, ruído, vibração, exposição a agentes químicos entre outros problemas.

Segundo Prasad, Tewari e Yadav (1995), as vibrações se originam das interações entre o trator e as deformações no solo da área de operação e também na sua fonte de potência. Kumar et al. (2001) observaram que a exposição ocupacional à vibrações de corpo inteiro em tratores agrícolas produzem lesões principalmente no abdômen e na coluna vertebral do operador..

Palmer et al. (2008) afirmam que a exposição ocupacional as vibrações de corpo inteiro (VCI), também chamadas de *whole-body vibration* (WBV) ocorre nas mais diversas profissões e é definida por Iida e Guimarães (2016) como a vibração transferida para todo o corpo através do contato assento-operador ou através do contato dos pés com o piso do posto de operação.

Tüchsen et al. (2010) concluíram através de diversas pesquisas realizadas que a exposição às vibrações de corpo inteiro (VCI) resultam em diversas deficiências aos operadores, gerando assim muitas aposentadorias prematuras.

As tecnologias que buscam atenuar as VCI não são criadas apenas com o intuito de reduzir os riscos para a saúde, mas também melhorar o conforto do ambiente de trabalho (LANGER; EBBESEN; KORDESTANI, 2015) para proporcionar ao operador um ambiente de trabalho adequado, para que possa ser exigido o máximo do mesmo.

Segundo Gheller (2013) uma forma de minimizar os efeitos nocivos causados pela vibração, é o emprego de materiais isoladores de vibração que são utilizados em produtos de engenharia e têm por finalidade reduzir a transmissão da energia transmitida de um corpo para o outro.

Dessa forma acredita-se que possa ser utilizado um artefato em formato de almofada para que seja colocado sobre o assento do trator que seja capaz de reduzir os níveis de vibrações para níveis salubres de acordo com a legislação vigente no Brasil, realizando ensaios com diferentes materiais para verificar se os mesmos proporcionam atenuação.

O objetivo do trabalho foi avaliar se os materiais utilizados no estudo colocados sobre o assento do trator proporcionam atenuação das vibrações de corpo inteiro (VCI) a qual o operador de tratores agrícolas está exposto.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido em área experimental pertencente ao Laboratório de Investigação de Acidentes com

Máquinas Agrícolas (LIMA) da Universidade Federal do Ceará.

O solo da área foi classificado segundo Embrapa (2013) como Argissolo Vermelho-amarelo, com classe textural franco arenoso. O ensaio foi realizado em área preparada anteriormente com aração e gradagem.

A determinação da umidade do solo foi realizada pelo método gravimétrico conforme Embrapa (1997), obtendo-se o resultado de 13,5% de umidade no solo.

O trator utilizado foi um trator 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA) da marca Valtra modelo A950, ano 2011, com motor de 4 cilindros, e cilindrada total de 4400 cm<sup>3</sup>, com potência do motor de 69,9 kW e rotação máxima de 2300 rpm, configurado com pneus diagonais, 14.9R24 no eixo dianteiro e no eixo traseiro 18.4R34. Para a realização dos ensaios foi utilizada a velocidade de deslocamento do trator de 6,1 km h<sup>-1</sup>, proporcionada pela marcha L3 do trator.

A pressão interna de ar nos pneus foi determinada pela recomendação do fabricante em função da carga distribuída nos rodados, sendo 26 lb pol<sup>-2</sup> no pneu dianteiro e 32 lb pol<sup>-2</sup> no pneu traseiro.

Para a realização do ensaio foi utilizado o assento padrão original de fábrica do trator Valtra A950, antes do início do ensaio, foi ajustado para o peso e tamanho do operador. O sistema de amortecimento existente no assento se dá através do estofamento e de um sistema mola-amortecedor.

Para verificar se o assento atenua ou amplifica a magnitude das vibrações incidentes foi utilizado o método SEAT% (ISO, 1997), é um método numérico utilizado para avaliar a eficiência da isolação do assento (Equação 01).

$$SEAT\% = \frac{VDV_w}{VDV_p} \times 100 \quad (1)$$

Sendo,

SEAT% = Seat effective amplitude transmissibility;

VDV<sub>w</sub> = Valor de dose de vibração nos eixos x, y ou z no assento;

VDV<sub>p</sub> = Valor de dose de vibração nos eixos x, y ou z no piso.

Para calcular o índice de transmissibilidade foram feitas cinco repetições com duração de 5 min com acelerômetro fixo ao piso do trator e posteriormente com o mesmo fixo no assento.

Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 1 que mostra que assento apresenta atenuação de mais de 40% das vibrações transmitidas pelo piso da plataforma de operação para os eixos X, Y e Z.

**Tabela 1** - Valor SEAT% para os eixos X, Y e Z.

Valor SEAT%		
Eixo X	Eixo Y	Eixo Z
64,53242	68,4886	42,60837

SEAT%: Seat effective amplitude transmissibility

Para efetuar a medição da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro do operador de tratores agrícolas foi utilizado um analisador de vibração HD 2030 da Delta OHM. Conectado ao analisador de vibração foi utilizado um acelerômetro triaxial modelo 356B41 que está fixado em um "seatpad" (placa circular de borracha, rígida e plana para a proteção do acelerômetro), o mesmo foi fixado na base do assento do trator com o uso de fita adesiva, de forma que durante o trajeto o acelerômetro não saísse do lugar.

Foram confeccionadas capas de couro, nas dimensões de 40 x 40 x 10 cm (dimensões determinadas em função do tamanho do assento). Foram utilizados dois materiais diferentes para o preenchimento das capas, espuma viscoelástica, e micro pérolas de poliestireno.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, foram utilizados dois materiais atenuantes (espuma viscoelástica; micropérolas de poliestireno) e sem atenuação (tratamento controle),

Foram feitas parcelas com leituras de 5 min, sendo que a cada 10 s é coletada uma amostra totalizando 18 amostras coletadas por cada repetição, sendo que foram realizadas 5 repetições para cada tratamento.

Para análise estatística dos dados foi utilizado o software estatístico ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2016), para verificar a normalidade dos dados, os mesmos foram submetidos ao teste de Anderson-Darling.

A Tabela 2 mostra o teste de normalidade de Anderson-Darling, para todas as variáveis avaliadas o valor obtido foi menor que o valor crítico, isso significa que todas as variáveis apresentam uma distribuição normal.

**Tabela 2** - Resultados Teste de Anderson-Darling.

Variável	Valor	V crit	Norma I
Aceleração média no eixo X ( $m s^{-2}$ )	0,53911	0,68106	Sim
Aceleração média no eixo Y ( $m s^{-2}$ )	0,54912	0,68106	Sim
Aceleração média no eixo Z ( $m s^{-2}$ )	0,44486	0,68106	Sim
Pico máx. X ( $m s^{-2}$ )	0,61900	0,68106	Sim
Pico máx. Y ( $m s^{-2}$ )	0,57274	0,68106	Sim
Pico máx. Z ( $m s^{-2}$ )	0,46255	0,68106	Sim
VDVR ( $m s^{-1,75}$ )	0,52918	0,68106	Sim
aren ( $m.s^{-2}$ )	0,60644	0,68106	Sim

Caso a mesma seja comprovada, os dados serão submetidos à análise de variância pelo teste F, e quando significativas, as médias serão comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão descritos os valores de aceleração média nos eixos X, Y e Z para vibrações de corpo inteiro, é possível observar que para todas as variáveis ocorreram diferenças significativas. Entre o assento e ambos os materiais atenuantes houve diferença significativa o que mostra que ambos os materiais apresentam atenuação das vibrações.

**Tabela 3** - Valores médios de aceleração média nos eixos x, y e z (VCI).

Fontes de Variação	Aceleração média no eixo X ( $m s^{-2}$ )	Aceleração média no eixo Y ( $m s^{-2}$ )	Aceleração média no eixo Z ( $m s^{-2}$ )
Tratamentos (F)	281,8 *	44,43 *	6,29 *
F-crit.	6,93	6,93	3,88
CV (%)	4,51	9,85	9,28
Espuma Viscoelástica	0,24 c	0,36 c	0,35 b
Micropérolas de poliestireno	0,32 b	0,46 b	0,32 b
Assento	0,48 a	0,64 a	0,67 a

Legenda: \* ( $p < 0,05$ ); <sup>NS</sup> (não significativo). Médias com letras diferentes nas colunas apresentam diferença significativa entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

A espuma viscoelástica apresentou melhor atenuação que as micropérolas de poliestireno para os eixos X e Y, não apresentando diferença significativa para o eixo Z.

O eixo Z foi o que apresentou maiores níveis de vibração, Mehta et al. (2000) também obtiveram maiores valores de vibração no eixo Z, segundo Ribas (2012) o eixo Z apresenta maiores níveis de vibração devido ao perfil desuniforme da superfície do solo.

A Tabela 4 apresenta os valores médios de pico máximo de aceleração nos eixos X, Y e Z. De acordo com Solecki (2007) a análise dos valores de pico mostra que existe grande variação nos valores de vibração durante todo o tempo da operação em relação aos valores de aceleração média.

**Tabela 4** - Valores médios de Pico máximo de aceleração nos eixos x, y e z (VCI).

Fontes de Variação	Pico Máximo X (m s <sup>-2</sup> )	Pico Máximo Y (m s <sup>-2</sup> )	Pico Máximo Z (m s <sup>-2</sup> )
Tratamentos (F)	0,471 ns	0,0245 *	3,906*
F-crit.	0,0254	0,0345	3,885
CV (%)	13,98	14,47	14,34
Espuma Viscoelástica	11,87	10,3 b	13,07 b
Micropérolas de Poliestireno	11,12	11,2 b	12,65 b
Assento	12,87	17,7 a	19,79 a

Legenda: \* (p<0,05); <sup>NS</sup> (não significativo). Médias com letras diferentes nas colunas apresentam diferença significativa entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

É possível observar que os valores de pico estão bem acima dos valores de aceleração média para três eixos X, Y e Z, conforme Solecki (2007) esses valores de pico elevados ocorrem principalmente devido a choques mecânicos induzidos ao assento do operador, seja pela desuniformidade da superfície do solo ou devido o próprio funcionamento do trator.

Segundo Lopes (2012) choques mecânicos podem ser reduzidos com o uso do cinto de segurança, pois o mesmo mantém o operador mais preso ao assento e com isso reduz a projeção do operador de cima do assento, portanto uma forma de reduzir os valores de pico é operar o trator utilizando o cinto de segurança, estando o mesmo ajustado a cintura do operador.

Os valores médios de dose de vibração resultante (VDVR) são apresentados na Tabela 5, houve diferença significativa entre o assento e ambos os materiais atenuantes.

**Tabela 5** - Valores médios de VDVR nos eixos X, Y e Z (VCI).

Fontes de Variação	VDVR (m s <sup>-1,75</sup> )
Tratamentos (F)	4,785*
F-crit.	3,88
CV (%)	11,30
Espuma Viscoelástica	6,79 b
Micropérolas de Poliestireno	8,25 b
Assento	15,23 a

Legenda: \* (p<0,05); <sup>NS</sup> (não significativo). Médias com letras diferentes nas colunas apresentam diferença significativa entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

De acordo com a NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013) o valor de dose de vibração resultante (VDVR) aceitável é de 0 até 9,1 m.s<sup>-1,75</sup>, o que indica que o tratamento sem almofada está acima do nível de ação, mas ambas as almofadas apresentaram aceitável para uma jornada de 8 h de exposição diária. Não ocorreu diferença significativa entre os materiais indicando que apresentam atenuação semelhante.

Avaliando o assento sem os artefatos foi obtido um valor de 15,23 m s<sup>-1,75</sup>, segundo Balbinot (2001) valores de VDVR por volta de 15 m s<sup>-1,75</sup> proporcionam grande desconforto, dores e até ferimentos ao operador, o que mostra a necessidade de utilização de meios para atenuar a vibração incidente ao operador. Na faixa acima de 8,5 m s<sup>-1,75</sup> existe a possibilidade de desconforto médio, sendo que os materiais atenuantes obtiveram valores inferiores.

Os valores de aceleração resultante de exposição normalizada (Tabela 6) para as vibrações de corpo inteiro apresentaram diferenças significativas entre o assento sem almofada e com o uso dos materiais atenuantes que apresentaram atenuação semelhante já que não diferiram estatisticamente entre si.

**Tabela 6** - Valores médios de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) nos eixos x, y e z (VCI).

Fontes de Variação	aren (m s <sup>-2</sup> )
Tratamentos (F)	50,79*
F-crit.	6,92
CV (%)	7,55
Espuma Viscoelástica	0,31 b
Micropérolas de Poliestireno	0,37 b
Assento	0,69 a

Legenda: \* (p<0,05); <sup>NS</sup> (não significativo). Médias com letras diferentes na coluna apresentam diferença significativa entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Segundo Langer et al. (2015) quando se obtêm valores de aren maiores que 0,5 m.s<sup>-2</sup> faz-se necessário o emprego de mudanças no trator afim de reduzir as vibrações de corpo inteiro incidentes ao operador, valor esse que foi obtido pelo assento, o que mostra a necessidade de atenuação.

De acordo com as diretrizes estabelecidas na NHO-09 (FUNDACENTRO, 2013) valores aceitáveis de aren são de 0 a 0,5 m.s<sup>-2</sup>, o que indica que o tratamento sem almofada está acima do nível de ação, porém com a utilização das almofadas de ambos os materiais apresentaram uma condição aceitável de trabalho para uma jornada de 8 h de exposição diária.

## 4 CONCLUSÃO

1. A espuma viscoelástica e as micropérolas de poliestireno apresentaram valores de VDVR e aren inferiores ao assento e dentro do nível aceitável estabelecido pela NR-15 o que caracteriza os materiais utilizados como aptos para atenuação.

2. Ambos os materiais utilizados apresentaram atenuação semelhante.

## 5 REFERÊNCIAS

BALBINOT, A. **Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde.** 2001. 281 f. Tese (Doutorado em Biomecânica)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF, 2013.

FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional (NHO-09): avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico**. São Paulo: Fundacentro, 2013.

**GHELLER, J. Avaliação do isolamento de vibrações por elastômeros. Revista Borracha Atual, São Paulo, n. 109, nov./dez. 2013.**

HIDA, I.; GUIMARÃES, L. B. M. **Ergonomia: projeto e produção**. 3. ed. São Paulo: Blücher, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 2631: mechanical vibration and shock: evaluation of human exposure of whole: body vibration: General requirements**. Genebra, 1997. 31 p.

LANGER, T. H.; EBBESEN, M. K.; KORDESTANI, A. Experimental analysis of occupational whole body vibration exposure of agricultural tractor with large square baler. **International Journal of Industrial Ergonomics**, Oxford, v. 47, p. 79-83, maio 2015.

LOPES, J. L. Análise de vibração ocupacional de corpo inteiro em máquinas colhedoras de cana-de-açúcar. **Revista ABHO**, São Paulo, v. 26, p. 6-16, mar. 2012.

KUMAR, A.; MAHAJAN, P.; MOHAN, D.; VARGHESE, M. Tractor vibration severity and driver health: a study from rural India. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v. 80, n. 4, p. 313-328, 2001.

MACEDO, D. X. S.; MONTEIRO, L. A.; SANTOS, V. C.; CHIODEROLI, C. A.; ALBIERO, D. Characterization of accidents involving tractors in Brazilian federal highways in the state of Minas Gerais. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v.10, p. 3049-3055, jul. 2015.

MEHTA, C. R.; SHYAM, P. S.; VERMA, R. N. Ride vibration on tractor-implement system. **Applied Ergonomics**, Loughborough, v. 31, p. 323-328, 2000.

PALMER, K. T.; HARRIS, E. C.; GRIFFIN, M. J.; BENNETT, J.; READING, I.; SAMPSON, M.; COGGON, D. Case-control study of low-back pain referred for magnetic resonance imaging, with special focus on whole-body vibration. **Scandinavian Journal of Work Environment & Health**, Helsinki, v. 34, p. 364-373, 2008.

PRASAD, N.; TEWARI, V. K.; YADAV, R. Tractor ride vibration: a review. **Journal of Terramechanics**, Silsoe, v. 32, n. 4, p. 205-219. 1995.

RIBAS, R. L. **Exposição humana à vibrações de corpo inteiro em um trator agrícola em operação de semeadura**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assisat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SOLECKI, L. Preliminary recognition of whole body vibration risk in private farmers' working environment. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, Lublin, v. 14, p. 299-304, 2007.

TÜCHSEN, F.; FEVEILE, H.; CHRISTENSEN, K. B.; KRAUSE, N. The impact of selfreported exposure to whole-body vibrations on the risk of disability pension among men: a 15 year prospective study. **BMC Public Health**, London, v. 10, n. 305, p. 1-6, 2010.