



## VIBRAÇÃO MECÂNICA EM UM TRATOR AGRÍCOLA ENSAIADO EM PISTA PADRONIZADA

Jefferson Sandi<sup>1</sup>, Kleber Pereira Lanças<sup>2</sup>, João Eduardo Guarnetti dos Santos<sup>3</sup>, Maria Marcia Pereira Sartori<sup>4</sup> & Romulo Leonardo da Silva<sup>5</sup>

**RESUMO:** Uma das principais variáveis que afetam o rendimento produtivo dos operadores de tratores agrícolas e que pode causar sérios problemas de saúde é a vibração gerada durante o funcionamento dessa máquina. Este trabalho teve como objetivo avaliar a vibração que incide sobre o corpo inteiro do operador através do assento de um trator agrícola mediante ensaio em pista de vibração padronizada. Empregou-se um trator de 92 kW de potência em quatro condições de lastragem: completamente lastrado, empregando somente lastro sólido, somente lastro líquido e completamente sem lastros, em quatro velocidades de deslocamento: 1,19 m s<sup>-1</sup>; 1,47 m s<sup>-1</sup>; 1,75 m s<sup>-1</sup> e 2,08 m s<sup>-1</sup>, com pressões de inflação nos rodados traseiros e dianteiros de 137,85 kPa e 165,47 kPa respectivamente. Utilizou-se um acelerômetro de três eixos (eixos x, y e z), fixado sobre o assento do trator para avaliação do efeito da vibração no corpo do operador. A aquisição foi feita com o aparelho HVM – 100 e software BLAZE® 6.1.1, sendo obtidos os parâmetros aceleração média resultante, valor da dose de vibração, fator de crista e projeção de dose para 8 horas de trabalho. Realizou-se a análise de variância e separação de médias para todos os componentes analisados. Todas as análises estatísticas foram feitas com o teste de Tukey a 5% de probabilidade (p<0,05). As menores velocidades de deslocamento do trator resultaram nas melhores condições de conforto, enquanto as maiores velocidades geraram as piores condições de trabalho. A lastragem máxima do trator ocasionou as condições menos prejudiciais ao operador quando combinada com as menores velocidades de deslocamento do trator. Os níveis e tipos de lastragem na velocidade V1 e a lastragem máxima (L1) na velocidade V2 apresentaram valores de dose de vibração abaixo do nível de ação, enquanto os demais tratamentos geraram valores acima do nível de ação ou na região de incerteza, sem chegar ao limite de exposição. Na projeção de dose para oito horas de trabalho, todos os tratamentos se encontraram acima do nível de ação ou na região de incerteza. Tanto para a aceleração média resultante quanto para o valor de dose de vibração os valores de vibração ocasionados no sentido do eixo y foram os principais responsáveis pelo comportamento dos dados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mecanização agrícola, segurança do trabalho, conforto, insalubridade, ergonomia.

### MECHANIC VIBRATION IN A FARM TRACTOR TESTED ON A STANDARDIZED TRACK

**ABSTRACT:** One of the main variables that affect the productive performance of agricultural tractors operators and can cause serious health problems is the vibration generated during operation. This study aimed to evaluate the vibration that comes over the entire body of the operator through the seat of a tractor by standardized test vibration track. A tractor of 92 kW of power was used in four conditions of ballasting: fully ballasted, using only solid ballast, liquid ballast and completely ballasts in four travel speeds, 1.19 m s<sup>-1</sup>; 1.47 m s<sup>-1</sup>; 1.75 ms<sup>-1</sup> and 2.08 ms<sup>-1</sup> with inflation pressures in the front and rear axles of 137.85 kPa to 165.47 kPa respectively. A three-axis accelerometer (x, y, and z) was fixed to the tractor seat to evaluate the effect of vibration on the body of the operator. The request was made with the HVM unit - 100 and BLAZE® software 6.1.1, which obtained the average resultant acceleration parameters, vibration dose value, crest factor and dose projection for 8 hours of work. Analysis of variance and average separation were performed for all analyzed components. All statistical analyzes were performed using the Tukey test at 5% probability (p <0.05). Tractor smaller travel speeds resulted in the best conditions of comfort, while the highest speeds generated the worst working conditions. Maximum tractor ballasting caused the least harmful conditions to the operator when combined with the smaller tractor travel speeds. The levels and types of ballasting in the V1 speed and the maximum ballasting (L1) in the V2 speed showed vibration doses values below the level of action, while the other treatments generated values above the action level or the uncertainty region, without reaching the exposure limit. At the dosage projection for eight hours of work, all treatments resulted on values above the action level or on the uncertainty region. For both the average resultant acceleration as to the vibration dose value, vibration values caused to the axis y were the main responsible for the behavior of the data.

**KEYWORDS:** Agricultural mechanization; work safety, confort, unsanitary conditions, ergonomics.

## 1 INTRODUÇÃO

Mesmo com o crescimento do setor agrícola, ainda são produzidos no país tratores que não foram projetados para fornecer relações homem-máquina adequadas (adequação do posto operacional ao trabalhador), pois a otimização dos parâmetros operacionais e de desempenho ainda são os principais objetivos das empresas, o que acaba obrigando muitas vezes o operador a trabalhar exposto a condições inadequadas de clima, ruídos e vibrações. (SANTOS et al., 2014).

<sup>1</sup> Doutorando no Programa de Pós Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura na FCA/UNESP-Botucatu. E-mail: [jffsandi@gmail.com](mailto:jffsandi@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor Titular do Departamento de Engenharia Rural na FCA/UNESP-Botucatu. E-mail: [kpplancas@fca.unesp.br](mailto:kpplancas@fca.unesp.br)

<sup>3</sup> Professor Titular do Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Federal Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Bauru. E-mail: [guarneti@feb.unesp.br](mailto:guarneti@feb.unesp.br)

<sup>4</sup> Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Federal Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Botucatu. [mmpsartori@fca.unesp.br](mailto:mmpsartori@fca.unesp.br)

<sup>5</sup> E-mail: [romulonempa@gmail.com](mailto:romulonempa@gmail.com)

Assim, a preocupação com a saúde do operador deve ser constante pela gravidade das injúrias ao organismo que podem decorrer por descuidos em relação a vibração ocorrente durante o desempenho das atividades com o trator. Por exemplo, a exposição às vibrações de corpo inteiro pode levar ao desenvolvimento de patologias na região lombar e lesões da coluna vertebral (SOEIRO, 2011). Para Tosin (2009), a sensibilidade do corpo às vibrações longitudinais (eixo z) e transversais (eixos x e y) é diferente, sendo maior em relação aos eixos x e y em baixas frequências.

Isso ocorre porque as vibrações mecânicas, originadas tanto no funcionamento da máquina quanto pela rugosidade da superfície de deslocamento, se tornam problemáticas quando a frequência de partes do corpo humano (por exemplo, o tronco vibra a uma frequência de 4 a 8 Hz), acaba se aproximando a frequência do trator (1-7 Hz), causando o efeito de ressonância (ZEHSZ et al., 2011).

Barceló, Araucaná e Hilbert (2004), determinaram que a melhor combinação entre pressão de inflação, regulagem adequada do assento para o peso do operador e velocidades baixas apresentaram valores de vibrações ocupacionais que estão dentro dos limites permitidos para trabalhos agrários comuns. Segundo Silva (2011), no decorrer do tempo, o assento foi o componente do trator agrícola que contribuiu de forma mais significativa para a mudança comportamental através do fornecimento de melhor estabilidade do corpo e atenuação das vibrações; porém, isso gerou problemas ergonômicos para a disposição dos comandos. Apesar disso, em alguns países, devido às razões econômicas, um trator sem suspensões na cabine e no assento tem maior demanda, fazendo com que os fabricantes decidam por disponibilizar apenas o isolamento da cabine contra poeira e água em seus produtos (ZEHSZ et al., 2011).

No Brasil, as Normas Regulamentadoras - NR, relativas à segurança e medicina do trabalho, abordam os aspectos relacionados à insalubridade das atividades trabalhistas. A Norma Regulamentadora nº 15 (NR 15), estabelece os limites de tolerância para cada atividade de acordo com a concentração ou intensidade de exposição do trabalhador ao agente nocivo (BRASIL, 1978). Porém, esta norma não se refere a limites de exposição à vibração, o que leva a adoção das normas internacionais para realização dos ensaios, dentre elas, a ISO 2631 e a diretiva 2002/44/CE da Comunidade Europeia que estipulam níveis de ação e limites de exposição humana a vibrações do corpo inteiro (SANTOS, 2014).

Segundo o Anexo 8 (Portaria NTE n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014) da NR 15 (BRASIL, 1978), a vibração caracteriza a condição de insalubridade no trabalho e determina uma remuneração adicional de 20% sobre o salário mínimo da região quando os valores de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) e de valor de dose de vibração resultante (VDVR) se encontram acima de  $1,1 \text{ m s}^{-2}$  e  $21,0 \text{ m s}^{-2}$ , respectivamente, cabendo ao empregador comprovar a avaliação dos dois parâmetros.

Atualmente existe a possibilidade de emprego de pistas padronizadas descritas em normas de órgãos e entidades de padronização para realização dos ensaios de vibração, como a ISO 5008. Nela são determinadas as características de duas pistas de ensaio, 35 m e 100 m, sendo que cada pista consiste em duas faixas paralelas com degraus de diferentes alturas, tornando-as assimétricas, constituídas por degraus de madeira metal ou concreto com diferentes alturas, construídas sobre um piso de concreto, por onde passam os pneus do trator, e a forma de condução do ensaio, como condições do trator, número de repetições, velocidades de deslocamento para cada pista ( $4,0$  a  $7 \text{ km h}^{-1}$  para a pista de 35 m e  $10 \text{ km h}^{-1}$  a  $14 \text{ km h}^{-1}$  para a pista de 100 m), a forma de fixação da instrumentação e os parâmetros que devem ser mensurados.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a vibração que incide sobre o corpo inteiro do operador através do assento de um trator agrícola mediante ensaio em pista de vibração padronizada.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado na Faculdade de Ciências Agrônomicas em fevereiro de 2015, na área experimental do Núcleo de Ensaios de Máquinas e Pneus Agroflorestais ( $22^{\circ}51'S$  e  $48^{\circ}25'W$ , com altitude local de 770 metros), da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de Botucatu - SP. A coleta de dados foi realizada sobre pista para ensaio de vibração em tratores agrícolas construída em madeira segundo a Norma ISO 5008 de 2002 (Figura 1).



**Figura 1** - Pista de vibração utilizada para ensaio. FCA/Botucatu, (2015).

Foi utilizado um trator agrícola 4x2 TDA com 92 kW de potência no motor, ensaiado com diferentes massas através da alteração das quantidades e tipos de lastros e utilizando um conjunto de pneus diagonais TM 95 (dianteiros 14.9-24 e traseiros 23.1-30). O assento presente no trator pertence à família FA 418/631 fabricado pela Grammer AG do Brasil.

Para aquisição dos dados empregou-se o HVM 100 em conjunto com o acelerômetro de três eixos (eixos x, y e z) SEN027 - *Seat Pad*, ambos fabricados pela Larson e

Davis e software Blaze 6.1.1 para transferência de dados. O equipamento HMV100 foi configurado para operar com o modo de corpo inteiro, média lenta, com acelerômetro ICP, referência de exposição de  $2,8 \text{ m s}^{-2}$ , sem integração, ponderação de frequência Wm Prédios, fatores multiplicativos de 1,4 (para os eixos x e y) e 1 (eixo z) e taxa de aquisição de dados de 1 Hz. A calibração da instrumentação foi realizada antes da execução dos ensaios.

O sistema de medição para corpo inteiro (*whole body*) foi fixado sobre o assento do operador de acordo com a NHO 09 (2013), com o acelerômetro tri-axial (disco flexível, com um acelerômetro central) para mensurar a vibração aplicada a todo o corpo humano, de acordo com os três eixos. As coordenadas cartesianas que foram obedecidas na fixação do acelerômetro ao assento foram: eixo x – frente/trás; eixo y – direita/esquerda; eixo z – para cima/para baixo. Para evitar a movimentação do disco, este foi fixado por meio de fita adesiva ao assento.

A rotação do motor foi determinada com auxílio de um tacômetro digital modelo DT6234B, medindo-se a velocidade de giro da árvore de manivelas do motor. Todas as coletas de dados foram realizadas com o motor a 2300 rpm no virabrequim. A tração dianteira auxiliar permaneceu ligada durante todas as coletas de dados. O assento foi regulado para o peso do operador (61 kg), permanecendo nesta condição durante todo o ensaio.

O trator foi ensaiado com quatro condições de lastragem, que resultaram em três diferentes massas: 70 kN quando totalmente lastrado utilizando uma combinação de lastros sólidos e líquido (L1), 54 kN empregando somente lastro sólido (L2) ou líquido (L3) e 48 kN sem qualquer tipo de lastro adicional (L4), sendo que em todas as situações adotou-se a mesma distribuição de 35% do peso no eixo dianteiro e 65% no eixo traseiro, em quatro velocidades de deslocamento:  $1,19 \text{ m s}^{-1}$  (V1);  $1,47 \text{ m s}^{-1}$  (V2);  $1,75 \text{ m s}^{-1}$  (V3) e  $2,08 \text{ m s}^{-1}$  (V4), com as pressões de inflação de 110,31 e 137,85 kPa nos rodados traseiros e dianteiros respectivamente.

O experimento foi conduzido em um delineamento experimental completamente casualizado em esquema fatorial, com cinco repetições. Os parâmetros avaliados durante o deslocamento do trator sobre a pista de vibração foram: os valores de soma dos eixos para acelerações média e valor da dose de vibração (nível de alerta), com base nos critérios de julgamento e tomada de decisão apresentados na Norma de Higiene Ocupacional 09 – NHO 09 (2013), e a projeção de dose para 8 horas de trabalho.

Para melhor exploração dos dados, realizou-se a análise de variância e separação de médias para todos as variáveis analisadas e a análise de componentes principais para as medições de aceleração média e valor da dose de vibração. Todas as análises estatísticas foram feitas com Tukey a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ) com auxílio do software Minitab® 16.2.4.4.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os menores valores de aceleração média resultante foram obtidos na combinação entre a menor velocidade de deslocamento (V1) e a lastragem L1, enquanto os maiores valores de aceleração média resultante ocorreram na velocidade V4 em combinação com as lastragens L2, L3 e L4 (Tabela 1).

**Tabela 1 - Valores de soma de aceleração média resultante ( $\text{m s}^{-2}$ ) para as diferentes lastragens e velocidades de deslocamento.**

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	2,68 Bd	3,11 Bc	3,99 Cb	5,27 Ba
L2	3,02 Ad	3,55 Ac	4,23 Bb	5,56 Aa
L3	2,86 ABd	3,48 Ac	4,77 Ab	5,45Aba
L4	3,05 Ad	3,67 Ac	4,59 Ab	5,56 Aa
F de Lastragem			100,44**	
F de Velocidade			3019,95**	
F de Lastragem* Velocidade			14,28**	
CV(%)			2,22	

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. \*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1:  $1,19 \text{ m s}^{-1}$ ; V2:  $1,47 \text{ m s}^{-1}$ ; V3:  $1,75 \text{ m s}^{-1}$ ; V4:  $2,08 \text{ m s}^{-1}$ .*

O maior peso e a menor velocidade podem ser fatores que proporcionam menor energia inercial e maior estabilidade ao trator durante seu deslocamento, permitindo que os pneus possam se adaptar melhor ao terreno através de sua deformação vertical e horizontal para absorver de forma mais eficiente as imperfeições existentes, o que acaba diminuindo a energia e intensidade das vibrações que chegam até o posto de operação, por outro lado, a maior velocidade foi determinante em todas as pressões ensaiadas para obtenção dos maiores valores de acelerações médias devido a maior energia inercial e movimentos mais rápidos ocasionados nesta situação.

Os altos valores de aceleração média resultante obtidos neste ensaio em pista de vibração de 35 m se devem às características da pista, que busca simular uma condição de grande irregularidade no terreno de trabalho, como por exemplo, as encontradas em um solo recém trabalhado com arados e subsoladores, ou quando existem obstáculos em meio ao campo, como canais de assoreamento, canteiros, camalhões, pedras, galhos e tocos. Kumar et al. (2001), obtiveram em seus ensaios, valores de aceleração média entre  $1,58$  e  $4,57 \text{ m s}^{-2}$  em pista de vibração padronizada, estradas pavimentadas e terreno coberto por palhada. Estes autores apontam que ensaios de vibração realizados durante as operações

agrícolas apresentam menores valores devido aos implementos atuarem como atenuadores da vibração.

Segundo Kroemer e Grandjean (2005), em ensaios em que foram simulados os efeitos psicofisiológicos das vibrações, a eficiência na direção foi prejudicada por vibrações na faixa de 4 Hz, onde os efeitos negativos crescem com o aumento da aceleração, sendo que os erros de direção aumentaram quando o operador está sujeito a acelerações na ordem de  $0,5 \text{ m s}^{-2}$ , tornando impossível dirigir com segurança quando as acelerações atingem  $2,5 \text{ m s}^{-2}$ . Os resultados encontrados evidenciaram que, em todas as condições, os valores de aceleração se encontram acima do nível adequado para permitir que o operador possa operar o trator com segurança.

Franchini (2007) obteve resultados que demonstram que na faixa de 0 a 15 Hz a vibração foi amplificada devido ao uso de lastro metálico total, o que ocorreu também no intervalo de 0 a 19 Hz devido ao emprego de lastro metálico parcial, e na faixa de 71 a 76 Hz com uso de lastro líquido total, sendo que os valores de transmissibilidade na análise de 1 a 80 Hz corresponderam a 59; 74 e 88%, respectivamente para o metálico total, lastro metálico parcial e lastro líquido total. Pinho et al. (2014), indicaram que os menores valores de vibração quando se utiliza o lastro metálico total, ocorreram devido a maior tendência inercial em função da aceleração longitudinal ser inversamente proporcional à massa do trator e diretamente à força motora dele, e quando se utiliza a mesma relação massa/potência, mas com o lastro líquido, o movimento oscilatório da água no interior do pneu, na direção de deslocamento, produziu um aumento da magnitude das acelerações.

Na Tabela 2 são apresentados os valores da dose de vibração obtidos durante o ensaio em pista de vibração de 35 metros. O melhor cenário foi obtido com a lastragem máxima (L1) na velocidade V1, e os resultados mais insalubres ocorreram na velocidade V4.

**Tabela 2** - Valores da dose de vibração ( $\text{m s}^{-1,75}$ ) de lastragens e velocidades de deslocamento.

Lastragem	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	7,53 Bd	8,83 Bc	10,30 Bb	13,54Aa
L2	8,43 Ad	9,53 Abc	10,74 Bb	14,02Aa
L3	7,80ABd	9,41 ABc	12,18 Ab	13,56Aa
L4	8,45 Ad	9,81 Ac	11,88 Ab	14,10Aa
F de Lastragem			3,36**	
F de Velocidade			117,74**	
F de Lastragem* Velocidade			0,89**	
CV(%)			3,06	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem

entre si na linha pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. \*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1:  $1,19 \text{ m s}^{-1}$ ; V2:  $1,47 \text{ m s}^{-1}$ ; V3:  $1,75 \text{ m s}^{-1}$ ; V4:  $2,08 \text{ m s}^{-1}$ .

O VDV representa a exposição cumulativa da exposição a vibração em um dia de trabalho, sendo mais indicado para avaliação do efeito da vibração sobre o corpo humano em jornadas maiores que 8 horas por representar de forma mais adequada os solavancos e choques que ocorrem durante o trabalho (SCARLETT, PRICE e; STAYNER, 2007).

Os tratamentos da velocidade V1 e a lastragem máxima (L1) em combinação com a velocidade V2 apresentaram valores abaixo do nível de ação ( $9,1 \text{ m s}^{-1,75}$ ), não necessitando que fossem adotadas medidas para atenuar os valores de vibração incidentes sobre o corpo inteiro do operador, enquanto os demais tratamentos estão acima do nível de ação, porém sem atingir a região de incerteza (faixa entre os valores acima do nível de ação e o limite de exposição de  $21 \text{ m s}^{-1,75}$ ), devendo-se adotar conjunto de medidas preventivas para estas condições, como redução da velocidade de trabalho, verificação da correta regulagem e posição do assento para operador, evitar sempre que possível superfícies muito irregulares, entre outras medidas que podem ser empregadas de acordo com as condições de trabalho.

As situações de exposição ocupacional superiores ao nível de ação implicam na adoção obrigatória de medidas de caráter preventivo, enquanto os cenários de exposição ocupacional superiores ao limite de exposição implicam na obrigatória adoção de medidas de caráter corretivo. Os valores encontrados ocorreram devido ao propósito e pela forma construtiva da pista de vibração de 35 m, que busca simular uma superfície bem acidentada em que os tratores normalmente podem encontrar no campo.

Segundo Balbinot (2001), quando o valor de  $8,5 \text{ m s}^{-1,75}$  é excedido existe a possibilidade de desconforto médio, pois este parâmetro de avaliação indica a severidade da exposição à vibração; porém, não existe um consenso na comunidade científica da relação precisa entre VDV e o risco de ferimentos a que o corpo humano pode sofrer, sendo que durante o desempenho da atividade a campo valores de VDV em torno de  $15 \text{ m s}^{-1,75}$  usualmente podem ocorrer em superfícies muito acidentadas, causando severo desconforto, dores e ferimentos.

Em experimento realizado por Ribas et al. (2014), utilizando tratores, foram encontrados valores de VDV superiores a  $8,5 \text{ m s}^{-1,75}$  no assento e no seu suporte.

Na Tabela 3 são apresentados os dados de valores de projeção de dose para oito horas de trabalho, sendo que em todos os tratamentos os valores medidos se encontram acima do nível de ação ou na faixa de incerteza, sendo que o tratamento com o uso de lastro

sólido (L2) e a velocidade V4 resultou no cenário mais prejudicial.

**Tabela 3** - Valores de projeção de dose para jornada de oito horas de trabalho ( $m s^{-2}$ ) para diferentes lastragens e velocidades de deslocamento.

Lastrage m	Velocidade			
	V1	V2	V3	V4
L1	0,6 Cc	0,8 Bb	0,8 Bb	1,0 Aba
L2	0,8 Ab	0,8 ABb	0,8 Bb	1,0 Aa
L3	0,7 BCc	0,8 Bb	0,9 Aa	0,9 Ba
L4	0,7 ABc	0,9 Ab	1,0 Aa	1,0ABa
F de Lastragem			25,11**	
F de Velocidade			200,71**	
F de Lastragem* Velocidade			11,51**	
CV(%)			4,74	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si na coluna e mesma letra minúscula não diferem entre si na linha pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. \* Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. \*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. L1: lastro máximo; L2: somente lastro sólido; L3: somente lastro líquido; L4: sem lastros adicionais. V1:  $1,19 m s^{-1}$ ; V2:  $1,47 m s^{-1}$ ; V3:  $1,75 m s^{-1}$ ; V4:  $2,08 m s^{-1}$ .

Como os valores encontrados estão abaixo do limite de  $1,15 m s^{-2}$ , são necessárias intervenções com caráter preventivo para evitar possíveis lesões e problemas de saúde aos operadores, como adoção de menores velocidades de operação, treinamento e conscientização dos operadores sobre a importância da adoção de boas práticas de trabalho e da seleção correta das regulagens e condições de trabalho.

Santos Filho et al. (2003), em experimento utilizando diferentes marchas para deslocamento do trator durante operação de gradagem sobre solo arado, obtiveram valores de aceleração ponderada global bem acima dos limites determinados para uma exposição de 4 horas de trabalho, de acordo com a Norma ISO 2631 (1997), onde o emprego da terceira marcha resultou em uma aceleração ponderada global de  $2,64 m s^{-2}$ , enquanto para a segunda marcha foi  $2,10 m s^{-2}$  e para a primeira marcha foi  $1,73 m s^{-2}$ . Cunha, Duarte e Rodrigues (2009), obtiveram resultados onde o limite para oito horas diárias de trabalho foi excedido, sendo que as piores situações ocorreram com as maiores acelerações ocorrendo no sentido de deslocamento do trator a medida que a rotação do motor foi aumentada. Para Scarlett, Price e Stayner (2007), a maioria das empresas fabricantes de tratores agrícolas incorpora e utiliza sistemas e mecanismos para reduzir o efeito das vibrações sobre o operador.

Marsili et al. (2002), demonstraram que a adoção de sistemas de suspensão pode permitir um incremento superior a 50% no tempo de exposição do operador ao trabalho. Lanças (2009) indicou que, com tratores

agrícolas, somente em condições específicas de operação foi possível atingir as oito horas diárias de trabalho. Segundo Tosin (2009), a vibração incidente sobre o operador está diretamente relacionada com a velocidade de deslocamento do trator, sendo que em seu experimento apenas as velocidades médias de  $1,0 m s^{-1}$  e  $1,4 m s^{-1}$  permitiram uma jornada completa de 8 horas de trabalho, em pista de concreto. Para Mehta e Tewari. (2000), cada pesquisador possui uma visão diferente sobre qual o melhor procedimento para prever o desconforto ocasionado pela vibração em tratores agrícolas; porém, as Normas ISO 2631-1 (1997) e BS 6841 apresentam critérios para prever a vibração incidente sobre o operador.

Os resultados obtidos demonstraram que a pista de vibração padronizada de 35 metros pode ser empregada como uma forma de avaliar os tratores para jornadas de trabalho de oito horas.

A análise de componentes principais demonstrou que para o primeiro componente, os valores de aceleração média dos três eixos ( $a_x$ ,  $a_y$  e  $a_z$ ), contribuíram de forma quase igualitária para definir a direção e o comportamento do primeiro componente, enquanto que, para o segundo componente, os valores do eixo y determinaram sua direção e comportamento (Tabela 4). Isso implica que os valores de aceleração no eixo y foram dominantes durante o ensaio de vibração na pista padronizada.

**Tabela 4** - Componentes principais para aceleração média resultante.

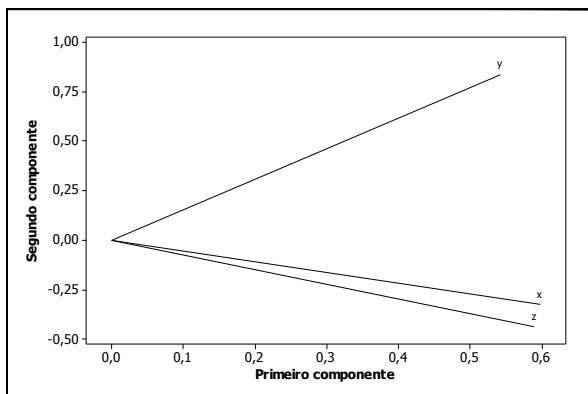
Eixo*	Primeiro Componente	Segundo Componente
X	0,598	-0,326
Y	0,543	0,837
Z	0,590	-0,440

\*Eixo de aceleração.

Isso é corroborado por Scarlett, Price e Stayner (2007), que concluiu em seu trabalho que as acelerações que ocorrem no eixo transversal y são dominantes durante a maior parte do desempenho das operações com tratores agrícolas, exceto nas atividades de deslocamento e transporte, quando as acelerações que ocorrem no eixo x passam a ser mais determinantes. Isto é corroborado por Marsilli et al. (2002), que obteve grandes reduções nas vibrações incidentes sobre o operador ao utilizar sistemas que atenuam a vibração nos eixos x e y em atividades que proporcionem baixa frequência de oscilação.

Scarlett, Price e Stayner (2007), atribuem os maiores valores de acelerações no eixo y e a menor capacidade dos assentos de tratores agrícolas atenuarem as vibrações neste sentido, sendo ainda a intensidade das vibrações dependente do tipo de operação realizada. Através da Figura 2 pode-se visualizar que os valores de x e z apresentaram um comportamento muito semelhante,

enquanto os relativos ao eixo y foram de sentido diferente dos demais eixos.



**Figura 2** - Análise de componentes principais da aceleração média resultante em relação aos diferentes eixos ( $a_x$ ;  $a_y$  e  $a_z$ ).

Estes resultados são diferentes dos obtido por Cunha, Duarte e Rodrigues (2009), onde os valores de acelerações no sentido de deslocamento do trator (eixo y) foram superiores aos encontrados nos demais eixos (x e z), ultrapassando os valores toleráveis apresentados na Norma ISO 2631-1 (1997) para atividades com arado e grade e em alguns casos atingiu valores não toleráveis.

Pinho et al. (2014), obtiveram diferentes acelerações entre as velocidades ensaiadas, onde o deslocamento a  $4,5 \text{ km h}^{-1}$  resultou em acréscimo de 13,5% no valor das acelerações na direção vertical em relação a velocidade de  $3,5 \text{ km h}^{-1}$ . Zehsaz et al. (2011), também apontam relações positivas entre o aumento da velocidade de deslocamento e das vibrações no posto operacional. Lanças et al. (2009), em um experimento variando a potência do trator, o tipo de pista de deslocamento, a pressão de inflação dos pneus e a velocidade média de deslocamento obteve resultados que indicaram que o aumento da velocidade de deslocamento elevou os níveis de vibração transmitida ao operador.

Pinho et al. (2014), concluíram através de seu experimento que o emprego de lastragem metálica total ocasionou as menores magnitudes de acelerações, independente das direções, se comparado com as demais lastragens utilizadas no ensaio.

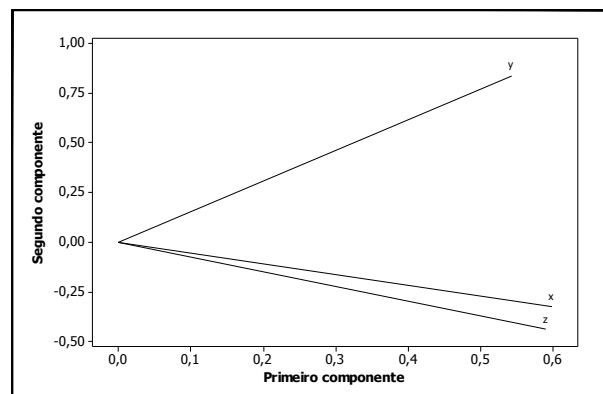
A Tabela 5 apresentam os resultados de dose de vibração, sendo que os três eixos ( $a_x$ ,  $a_y$  e  $a_z$ ) contribuíram de forma quase igualitária para definir a direção e o comportamento do primeiro componente, enquanto que, para o segundo componente, os valores do eixo y determinaram sua direção e comportamento.

**Tabela 5** - Componentes principais para o valor de dose de vibração.

Eixo*	Primeiro Componente	Segundo Componente
X	0,598	-0,326
Y	0,542	0,837
Z	0,590	-0,440

\*Eixo de aceleração.

Através da Figura 3 pode-se verificar que os componentes x e z apresentaram o mesmo comportamento para o valor de dose de vibração, enquanto o componente y apresentou outra direção indicando um comportamento diferente das outras duas. Esse comportamento é o mesmo daquele encontrado para a aceleração média resultante.



**Figura 3** - Análise de componentes principais do valor da dose de vibração em relação aos diferentes eixos ( $a_x$ ;  $a_y$  e  $a_z$ ).

Barceló et al. (2004), concluíram que as baixas pressões de inflação não permitiram que os pneus pudessem amortecer as vibrações verticais de forma eficaz, sendo relatado que nas velocidades de  $7$  e  $12 \text{ km h}^{-1}$ , o efeito da regulagem do assento é imperceptível, podendo-se notar os efeitos da mesma a partir da velocidade de  $20 \text{ km h}^{-1}$ .

## 4 CONCLUSÕES

Os menores valores vibracionais incidentes sobre o corpo inteiro do operador, através do assento, foram obtidos com as menores velocidades de deslocamento do trator sobre a pista normatizada, o que resultou nas melhores condições de conforto.

A lastragem máxima do trator ocasionou as condições menos prejudiciais de vibração incidente, através do assento do operador, quando combinada com as menores velocidades de deslocamento do trator.

Os níveis e tipos de lastragem na velocidade V1 e a lastragem máxima (L1) na velocidade V2 apresentaram valores de dose de vibração abaixo do nível de ação, enquanto os demais tratamentos ficaram acima do nível de ação ou na região de incerteza, sem chegar ao limite de exposição.

Na projeção de dose para oito horas de trabalho, todos os tratamentos se encontraram acima do nível de ação ou na região de incerteza.

A aceleração incidente através do assento do trator no sentido do eixo y foi a principal responsável por determinar a distribuição dos dados de aceleração média resultante quanto para o valor de dose de vibração.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, 2001.

BARCELÓ, L. E.; ARAUCANÁ, M.; HILBERT, J. A. **Efecto de diferentes presiones de inflado y regulaciones de lasientos sobre las vibraciones de cuerpo entero em tractores agrícolas**. Hurlingham: Instituto de Ingenieria Rural Inta Cautelar, 2004. 10 p.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15 - Atividades e operações insalubres**. Brasília, 1978. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D040147D14EAE840951/NR-15%20%28atualizada%202014%29.pdf>>. Acesso em: 22 abril 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15 – Anexo 8: vibrações**. Brasília, 1978. Disponível em: <<http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D040147D14CDC9C6FC1/NR-15%20%28Anexo%20n.%C2%BA%2008%29%20Vibra%C3%A7%C3%B5es%20282014%29.pdf>>. Acesso em: 22 abril 2015.

CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, M. A. V.; RODRIGUES, J. C. Avaliação dos níveis de vibração e ruído emitidos por um trato r agrícola em preparo de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 4, p. 348-355, out./dez. 2009.

FRANCHINI, D. **Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trator agrícola**. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional: NHO 09: avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro: procedimento técnico**. São Paulo: Fundacentro, 2013. 63 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **2631-1: Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to wholebody vibration – Part I: general requirements**. Geneva: International Standard, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **5008: Agricultural**

wheeled tractors and field machinery – measurement of whole-body vibration of the operator. Geneva: **International Standard**, 2002.

KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E. **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2005. 327 p.

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

LANÇAS, K. P.; TOSIN, R. C.; ARAUJO, J. A. B.; MONTEIRO, L. de A.; GUERRA, S. P. S. Avaliação da Vibração Ocupacional no Corpo Inteiro para Tratores Agrícolas de 55,2 kW e 109,5 kW. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 38, 2009, Juazeiro/Petrolina. **XXXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal: SBEA, 2009.

MARSILI, A.; RAGNIB, L.; SANTOROA, G.; SERVADIOA, P.; VASSALINIA, G.. Innovative systems to reduce vibrations on agricultural tractors: comparative analysis of acceleration transmitted through the driving seat. **Biosystems Engineering**, Bedford, v. 81, n. 1, p. 35-47, 2002.

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

PINHO, M. S.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; FARIAS, M. S.; UHRY, D.; RIBAS, R. L. Acelerações eficazes na interface assento-operador de um trator. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 10, p. 1797-1803, out, 2014.

RIBAS, R. L.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; FARIAS, M. S. DE; RODRIGUES, F. A. Exposição humana à vibrações de corpo inteiro em um trator agrícola com pneus radiais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 9, p. 1589-1595, set. 2014.

SANTOS FILHO, P. F. FERNANDES, H. C.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, A. P.; CAMILO, A. J. Avaliação dos níveis de vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automática de dados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 887-895, 2003.

SANTOS, L. N.; FERNANDES, H. C.; SOUZA, A. P.; FURTADO JÚNIOR, M. R.; SILVA, R. M. F. Avaliação dos níveis de ruído e vibração de um conjunto trator-pulverizador, em função da velocidade de trabalho. Viçosa: **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 2, 2014.

SCARLETT, A. J.; PRICE, J. S.; STAYNER, R. M. Whole-body vibration: Evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors.

**Journal of Terramechanics**, Silsoe, v. 44, n. 1, p. 65-73. 2007.

SILVA, C. B. VOLPATO, C. E. S.; ANDRADE, L. A. B.; BARBOSA, J. A. Avaliação ergonômica de uma colhedora de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 179-185, 2011.

SOEIRO, N. S. Vibrações e o corpo humano: uma avaliação ocupacional. In: Workshop de Vibrações e Acústica, 1, 2011. Tucuruí. **I Workshop de Vibrações e Acústica**. Tucuruí: SOBRAC, 2011.

TOSIN, R. C. **Avaliação do ruído e da vibração no posto de trabalho em dois tratores agrícolas**. 2009. 140 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 2009.

ZEHSAZ, M.; SADEGHI, M. H.; ETTEFAGH, M. M.; SHAMS, F. Tractor cabin's passive suspension parameters optimization via experimental and numerical methods. **Journal of Terramechanics**, Amsterdã, v. 48, 439-450, 2011.