IV CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS COINTER - PDVAgro 2019

AValiação DA VIBRAÇÃO OCUPACIONAL NO POSTO OPERACIONAL DE TRATORES AGRÍCOLAS DURANTE A OPERAÇÃO DE SUBSOLAGEM

EVALUACIÓN DE LA VIBRACIÓN OCUPACIONAL EN EL POSTE OPERATIVO DE TRACTORES AGRÍCOLAS DURANTE LA OPERACIÓN DEL SUBSOLADO

EVALUATION OF OCCUPATIONAL VIBRATION AT THE OPERATIONAL POST OF AGRICULTURAL TRACTORS DURING THE SUBSOLDING OPERATION

Apresentação: Comunicação Oral

Ana Carolina Cazani¹; Ricardo Hideaki Miyajima²; Danilo Simões³; João Eduardo Guarnetti dos Santos⁴

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IVCOINTERPDVAgro.2019.0099>

Resumo

A utilização de tratores com implemento subsolador na área da Silvicultura, com enfoque na atividade do preparo de solo é uma prática comum. No entanto, esse método deve ser avaliado sob a ótica da saúde do operador, pois, ele está sujeito às vibrações que estas máquinas podem transmitir durante a execução de suas atividades laborais. As vibrações de natureza ocupacional podem causar problemas na coluna vertebral, potencializar o risco de doenças lombares, distúrbios vasculares, neurológicos e muscoesqueléticos. Nesta perspectiva, objetivou-se avaliar quantitativamente a vibração ocupacional atuante em um operador de trator agrícola com implemento subsolador acoplado enquanto executava a operação de subsolagem em uma área destinada ao plantio de eucalipto. Os procedimentos técnicos adotados foram os estabelecidos pela Norma de Higiene Ocupacional 09: Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro da Fundacentro. O instrumental consistiu em um medidor integrador de vibração de corpo humano da Larson Davis modelo HVM 200 e um acelerômetro triaxial do tipo *Seat Pad* de mesma marca, devidamente calibrado, que foi fixado no assento do trator. Os ensaios foram realizados em duas áreas de terreno com variação na quantidade de resíduo florestal e umidade, caracterizados como Ensaio A (bordadura do talhão) e Ensaio B (interior do talhão). Os ensaios demonstraram valores de aceleração resultante de exposição normalizada superiores ao limite de tolerância em ambos os cenários (superior na área de bordadura do talhão), indicando a necessidade de adoção imediata de medidas corretivas, pois, a exposição continuada do trabalhador a essas condições pode trazer prejuízos a sua saúde.

Palavras-Chave: Silvicultura, Doenças ocupacionais, Ergonomia, Eucalipto.

¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, FEB-UNESP, carolina.cazani@unesp.br.

² Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, FCA-UNESP, miyajimaricardo@gmail.com

³ Doutor, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP-Botucatu, danilo.simoess@unesp.br

⁴ Doutor, Faculdade de Engenharia de Bauru, UNESP-Bauru, joao.guarnetti@unesp.br.

Resumen

El uso de tractores de implementos subsoladores en el área forestal, que se centra en la actividad de labranza es una práctica común. Sin embargo, este método debe evaluarse desde la perspectiva de la salud del operador, ya que está sujeto a las vibraciones que estas máquinas pueden transmitir durante la ejecución de sus actividades laborales. Las vibraciones ocupacionales pueden causar problemas en la columna, aumentar el riesgo de enfermedades de la espalda baja, trastornos vasculares, neurológicos y musculoesqueléticos. Desde esta perspectiva, el objetivo era evaluar cuantitativamente la vibración ocupacional que actúa sobre un operador de tractor agrícola con un implemento de subsolador adjunto mientras realiza la operación de subsolado en un área destinada a la plantación de eucalipto. Los procedimientos técnicos adoptados fueron los establecidos por el Estándar de Higiene Ocupacional 09: Evaluación de la exposición ocupacional a las vibraciones de cuerpo completo de Fundacentro. El instrumento consistía en un medidor de vibración del cuerpo humano modelo HVM 200 de Larson Davis y un acelerómetro triaxial de tipo almohadilla de asiento debidamente calibrado que estaba conectado al asiento del tractor. Las pruebas se realizaron en dos áreas del terreno con variación en la cantidad de residuos forestales y humedad, caracterizadas como Prueba A (límite del campo) y Prueba B (interior del campo). Las pruebas demostraron valores de aceleración resultantes de la exposición normalizada por encima del límite de tolerancia en ambos escenarios (mayor en el área límite del campo), lo que indica la necesidad de una acción correctiva inmediata, ya que la exposición continua del trabajador a estas condiciones puede estar trayendo daño a su salud.

Palabras Clave: Silvicultura, Enfermedades profesionales, Ergonomía, Eucalipto.

Abstract

The use of subsoiler implement tractors in the Forestry area, focusing on the tillage activity is a common practice. However, this method should be evaluated from the perspective of the operator's health, as it is subject to the vibrations that these machines may transmit during the execution of their work activities. Occupational vibrations can cause spinal problems, increase the risk of low back disease, vascular, neurological and musculoskeletal disorders. From this perspective, the objective was to quantitatively evaluate the occupational vibration acting on an agricultural tractor operator with attached subsoiler implement while performing the subsoiling operation in an area intended for eucalyptus planting. The technical procedures adopted were those established by Occupational Hygiene Standard 09: Assessment of Occupational Exposure to Fundacentro Full Body Vibrations. The instrument consisted of a Larson Davis model HVM 200 integrating human body vibration meter and a properly calibrated triaxial Seat Pad type accelerometer that was attached to the tractor seat. The tests were performed in two areas of terrain with variation in the amount of forest residue and humidity, characterized as Test A (field boundary) and Test B (field interior). The tests demonstrated acceleration values resulting from normalized exposure above the tolerance limit in both scenarios (higher in the field boundary area), indicating the need for immediate corrective action, as continued exposure of the worker to these conditions may be bringing harm to your health.

Keywords: Silviculture, Occupational diseases, Ergonomics, Eucalyptus.

Introdução

A mecanização compreende todos os níveis de tecnologias, não se limitando aos equipamentos motorizados e sofisticados, mas também ferramentas manuais mais simples. A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2016) cita como algumas das vantagens da mecanização a diminuição do trabalho penoso, a redução da necessidade de mão de obra, aumento da produtividade e pontualidade, melhoria na utilização de recursos e no acesso ao mercado. Paralelamente a essas alterações e melhorias, ocorreram naturalmente mudanças nas formas como o trabalho é realizado e da própria relação do trabalhador com este. Quando o equipamento é capaz de proporcionar conforto ao operador, é possível a ocorrência de aumento da produtividade, porém, quando ele não está adequado, pode haver aumento no número de acidentes e doenças ocupacionais, principalmente por causa da exposição a problemas ergonômicos (SOUZA et al., 2004).

A Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO, 2000) adota a seguinte definição para Ergonomia:

Ergonomia (ou Fatores Humanos) é a disciplina científica que trata da compreensão das interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema, e a profissão que aplica teorias, princípios, dados e métodos, a projetos que visam otimizar o bem-estar humano e a performance global dos sistemas.

Por meio da aplicação das concepções dispostas pela Ergonomia é possível aprimorar o desempenho de um sistema e a satisfação e bem-estar do ser humano. A Ergonomia tem como seu propósito fundamental a alteração dos sistemas de trabalho, objetivando a adequação das atividades nele existentes às características, habilidades e limitações às pessoas, com vistas ao seu desempenho eficiente, confortável e seguro. Estudando vários fatores que atuam em um ambiente de trabalho, consegue-se limitar os riscos a que os trabalhadores estão expostos, promovendo a segurança e consequentemente tornando mais operativo o sistema em que se encontram envolvidos; as análises ergonômicas (quantitativas e qualitativas) permitem a descrição e a interpretação do que acontece na realidade da atividade enfocada (ABERGO, 2000).

A Ergonomia além de estudar os diversos fatores que podem atuar no funcionamento do sistema produtivo, busca a redução das consequências lesivas sobre o empregado auxiliando no desenvolvimento de melhorias de projeto, de condições e organização do trabalho, contribuindo para a preservação da saúde e segurança do trabalhador (IIDA; BUARQUE, 2016). Dentre os problemas ergonômicos que podem ser encontrados nas

atividades relacionadas ao agronegócio tem-se o agente físico decorrente da vibração. Para Rao (2009) a vibração é um movimento que se repete após um intervalo de tempo. Segundo Lehto e Buck (2008) algumas vibrações de natureza ocupacional são incômodas e indesejáveis, e como consequência pode afetar o desenvolvimento de determinadas tarefas e causar lesões e doenças.

Estudos envolvendo a quantificação de vibração em máquinas agrícolas empregadas na área florestal ainda são limitados, tanto os relacionados à vibração de corpo inteiro quanto à vibração de mãos e braços. Ao contrário da colheita mecanizada da madeira em que são utilizadas máquinas especificamente projetadas para a atividade, na silvicultura o cenário é diferente, com a habitual adaptação de máquinas agrícolas. De maneira geral, as máquinas empregadas não foram projetadas para as condições florestais encontradas.

Assim, considerando a importância de estudos relacionados aos aspectos ergonômicos do agente físico vibração atuantes no posto de trabalho de um operador de máquinas agrícolas, avaliou-se a operação de subsolagem realizada por um trator agrícola com um implemento subsolador em duas condições operacionais.

Fundamentação Teórica

Um corpo está em vibração quando apresenta um movimento oscilatório em torno de um ponto fixo, sendo o movimento oscilatório do corpo causado por forças desequilibradas de componentes rotativos e movimentos alternados de uma máquina ou equipamento (LAM et al., 2018). A vibração está presente em qualquer sistema mecânico que se mova, variando de um sistema para outro apenas com relação ao nível e conteúdo espectral (BECKER, 2006).

No mundo físico, fenômenos importantes relacionados às vibrações de natureza mecânica ocorrem de maneira constante, são anteriores à existência do homem e ocasionalmente liberam grandes quantidades de energia (ZEHSZ et al., 2011). No cotidiano moderno, encontram-se presentes uma diversidade de fenômenos físicos coerentes com as vibrações mecânicas e suas manifestações.

De acordo com Rao (2009) a maioria das atividades humanas envolve de alguma forma vibração, como exemplo, a respiração associada à vibração dos pulmões, a audição a vibração dos tímpanos e a fala, relacionada ao movimento oscilatório da laringe e da língua. Ademais, Sotelo Junior e França (2006) mencionam a presença das vibrações em aparelhos de uso doméstico como aspiradores, secadores, máquinas de lavar etc., onde:

[...] pode-se vivenciar a sensação induzida pelo movimento mecânico de alta frequência e de pequena amplitude de deslocamento, desagradável em geral, associado a ruído sonoro e que conduz à fadiga física após certo tempo de exposição (SOTELO JUNIOR; FRANÇA, 2006).

Atualmente existem muitas pesquisas relacionadas a vibrações na área da Engenharia, como em projetos de máquinas, fundações, estruturas, motores, turbinas e sistemas de controle (GANGSAR; TIWARI, 2017; KUMAR et al., 2019). Há uma diversidade de relatos de falhas de sistemas causados por ressonância e vibração excessiva de componentes e sistemas com um efeito devastador. Considerando sua criticidade são investidas altas somas de recursos no aprimoramento dos equipamentos para reduzir os efeitos desagradáveis desse agente (SOTELO JUNIOR; FRANÇA, 2006).

A Organização Internacional do Trabalho (OIT) em sua Convenção 148 define que o termo vibração *“compreende toda vibração transmitida ao organismo humano por estruturas sólidas e que seja nociva à saúde ou contenha qualquer outro tipo de perigo”* (OIT nº 148, 1977). Sob o viés ocupacional, determinadas vibrações são incômodas e indesejáveis, e além de influenciar no desenvolvimento normal das atividades pode ocasionar doenças e lesões (BASRI; GRIFFIN, 2013).

Usualmente as vibrações transmitidas ao corpo humano são classificadas de duas formas, de acordo com a parte do corpo atingida: vibrações de corpo inteiro e vibrações de mãos e braços. As vibrações de corpo inteiro (VCI) são transmitidas ao corpo como um todo, possuem baixa frequência e alta amplitude, situando-se na faixa de 1 a 80 Hz e são encontradas geralmente em atividades de transporte (SALIBA, 2016). Iida e Buarque (2016) complementam que as vibrações são particularmente mais nocivas nas frequências mais baixas (de 1 a 80 Hz). Durante sua jornada laboral, um operador de máquinas está exposto a vibrações de baixa frequência e grande amplitude (LOPES, 2012). A repetição diária a essa exposição descontrolada pode ser lesiva para o trabalhador.

Em algumas pesquisas relacionadas à VCI foram encontradas evidências de que intensas vibrações de grande duração podem prejudicar a coluna vertebral e potencializar o risco de doenças lombares (VENDRAME, 2017). Estudos epidemiológicos indicaram que existe risco elevado para os trabalhadores expostos por vários anos a intensas vibrações de corpo inteiro (REHN et al., 2002; SHERWIN et al., 2004). Como resultado, pode haver alteração degenerativa primária nas vértebras e nos discos intervertebrais existindo uma

relação significativa entre a exposição do corpo humano às vibrações e as dores na região do dorso e costas.

De acordo com Balbinot e Tamagna (2002) o corpo humano pode ser qualificado como uma elaborada estrutura biomecânica e sua sensibilidade à vibração envolvem diferentes fatores como postura, tensão muscular, frequência, amplitude e direção da vibração, além da dose e duração da exposição. Tendo o corpo humano uma vibração natural, caso uma frequência externa coincida com a frequência natural do sistema, ocorrerá à ressonância o que ocasiona a amplificação do movimento (SCARPIM; FERREIRA, 2015).

O corpo humano reage às vibrações de forma distinta, a sensibilidade às vibrações longitudinais, representado pelo eixo “z” da coluna vertebral, é diferente da sensibilidade transversal, representado pelos eixos “x” ou “y” ao longo dos braços ou através do tórax. Em cada uma das direções, a sensibilidade varia com a frequência conforme a Figura 1. Segundo Rao (2009) foi constatado que a tolerância do ser humano a VCI é mais baixa na faixa de frequência de 4 a 8 Hz. O mesmo autor relacionou as frequências com os efeitos: tontura e náusea (0,1 a 1 Hz), turvamento da visão (2 a 20 Hz), perturbação da fala (1 a 20 Hz), interferência com tarefas (0,5 a 20 Hz) e fadiga posterior (0,2 a 15 Hz).

FIGURA 1: Sensibilidade à frequência de vibração de diferentes partes do corpo humano.

Fonte: RAO (2009).

As vibrações retilíneas (vertical, transversal e longitudinal) transmitidas ao homem devem ser medidas nas direções corretas de um sistema ortogonal de coordenadas que tenha sua origem na posição do coração. Assim, a avaliação da vibração deve ser realizada de acordo com o sistema de coordenadas triaxial, para cada um desses eixos “x”, “y” e “z”, conforme pode ser observado na Figura 2

FIGURA 2: Eixos de direção adotados para medição.

Fonte: NHO 09 (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013).

Alguns dos parâmetros que podem ser identificados na análise de dados vibratórios são valor de pico, valor pico-a-pico, fatores de forma e de crista e valor *rms* (*root mean square*) (KADERLI; GOMES, 2011). O de maior importância é o referente ao valor *rms*, pois, segundo Fernandes (2000) refere-se à média de energia contida no movimento oscilatório e o potencial de dano da vibração. De acordo com Griffin (1990), conforme citado por Kaderli e Gomes (2011), o método mais utilizado para a quantificação da vibração é por meio da aceleração.

Para Margarido (2013), quando uma vibração é avaliada em determinada direção, sua magnitude é mensurada para todas as frequências dentro do intervalo em que o ser humano é sensível. Porém, a importância dela na análise da resposta humana não é similar, pois, sinais avaliados de vibração com conteúdo espectral diferente podem ter valores idênticos para os parâmetros, porém, seu efeito no corpo humano pode ser bastante diverso (WALBER, 2009).

Portanto, são aplicados filtros de ponderação às vibrações avaliadas, conferindo maior peso às frequências em que o corpo humano é mais sensível. Na avaliação ocupacional de corpo inteiro, foco desse estudo, a faixa de frequência considerada é de 0,5 Hz a 80 Hz e as ponderações são: W_k - aceleração ponderada no eixo “z”; W_d - aceleração ponderada nos eixos “x” e “y”. Já os fatores de multiplicação em função do eixo considerado nesse caso são: $f = 1,4$ para os eixos “x” e “y” e $f = 1,0$ para o eixo “z” (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013).

Ressalta-se que esses fatores de multiplicação variam de acordo com o tipo de avaliação realizada, ou melhor, se está vinculada a saúde, conforto ou percepção, ou ainda, de acordo com o local de medição. Isto posto, os resultados deste trabalho referem-se ao critério saúde para avaliações de corpo inteiro.

Metodologia

O estudo foi desenvolvido em uma área destinada ao plantio de floresta de *Eucalyptus* com a finalidade da produção industrial de chapas de fibra. O solo foi classificado como Latossolo vermelho-amarelo e, com uma declividade do terreno pautada na classificação brasileira de solos conforme Santos et al. (2018), logo caracterizada como plana (0 a 3%).

O estudo ponderou a avaliação de um trator agrícola da marca Valtra, modelo BH, com potência nominal do motor de 180 cv, com 7.148 horas de uso e com um implemento subsolador da marca *Colossus* Florestal, com uma capacidade de carga de 600 Kg para armazenamento de insumos, com haste parabólica e oito discos de aiveca (Figura 3). Para a realização da atividade preparo de solo, considerou-se apenas um operador, o qual possuía uma massa de 100 Kg e 1,78 m de altura. Os equipamentos de proteção individual foram fornecidos pelo empregador e consistiam em botina de segurança, protetor auricular, óculos de segurança, perneira e capuz de segurança.

A operação foi dividida em dois ensaios: Ensaio A: operação de subsolagem realizada na bordadura do talhão, caracterizada pelo acúmulo de resíduos oriundos da colheita de madeira; Ensaio B: operação de subsolagem realizada no interior do talhão, caracterizada por uma menor quantidade de resíduos da colheita de madeira. Para ambos os ensaios a operação de subsolagem foi realizada a 40 cm de profundidade, ademais foram coletados amostras de solo para a determinação da umidade no momento da operação de subsolagem.

FIGURA 3: Trator com implemento agrícola subsolador utilizado nos ensaios.

Fonte: Própria (2019).

Para a coleta dos dados da vibração atuante no operador, foi utilizado um analisador de vibração da marca *Larson Davis*, de acordo com os requisitos definidos pela norma ISO 8041 (2005) que determina os padrões a serem seguidos pelos instrumentos de medição projetados para medir valores de vibração, com o propósito de avaliar a resposta humana. Os procedimentos técnicos aplicados na avaliação de VCI foram os definidos conforme as diretrizes da Norma de Higiene Ocupacional – NHO 09: Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro estabelecida pela FUNDACENTRO (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013). Essa normativa determina que as medições da vibração transmitida ao corpo devem ser realizadas de acordo com as três direções de um sistema de coordenadas ortogonais de forma simultânea, utilizando-se um acelerômetro do tipo triaxial.

Em conformidade a NHO 09 (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013), foi conectado ao analisador de vibração (Figura 4a), um acelerômetro triaxial ICP do tipo *Seat Pad*, modelo SEN027 (SN P236310), com a seguinte sensibilidade nominal: eixo x = 10,26 mV/m/s² ; eixo y = 10,26 mV/m/s²; eixo z = 10,33 mV/m/s² (Figura 4a). O *Seat Pad* foi fixado no assento do trator agrícola com fita adesiva do tipo de empacotamento, sem comprometer os resultados obtidos, respeitando a localização dos eixos, e permitindo que o operador execute suas atividades normalmente, conforme a (Figura 4b). As avaliações foram realizadas em condições reais de operação durante 20 minutos, totalizando 1.200 registros em cada ensaio.

FIGURA 4: (a) *Seat Pad* e módulo de aquisição de dados – HVM 200.
(b) Acelerômetro fixado no assento.

(a) Fonte: Própria (2019).
(b) NHO 09 (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013).

As avaliações dos dados técnicos foram baseadas na NHO 09 (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013) em que se fixa um sistema de coordenadas com origem na interface entre a fonte vibratória e o corpo humano. A aceleração média resultante (amr) foi calculada de acordo com a Equação 1 em que am_j corresponde a aceleração média de cada eixo e o f_j é o fator de multiplicação em função do eixo considerado ($f = 1,4$ para os eixos “x” e “y” e $f = 1,0$ para o eixo “z”).

$$amr = \sqrt{(f_x \times am_x)^2 + (f_y \times am_y)^2 + (f_z \times am_z)^2} \quad (1)$$

A aceleração resultante da exposição (are) é definida pela NHO 09 (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013) como a aceleração média resultante representativa da exposição ocupacional diária, mensurada conforme a Equação 2. O valor $arep_i^2$ é a aceleração resultante da exposição parcial; n_i é o número de repetições da componente de exposição “i” ao longo da jornada de trabalho; T_i é o tempo de duração da componente de exposição; m é o número de componentes de exposição que compõem a exposição diária; T é o tempo da duração da jornada diária de trabalho.

$$are = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^m n_i arep_i^2 T_i} \quad (2)$$

Em relação à aceleração resultante de exposição normalizada ($aren$) corresponde ao valor do are convertido para uma jornada diária padrão de 8 horas NHO 09 (CUNHA;

GIAMPAOLI, 2013). Calculada conforme a Equação 3. Em que T é o tempo de duração da jornada diária de trabalho expresso em horas ou minutos; T_0 é o tempo de 8 horas ou 480 minutos.

$$aren = are \times \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (3)$$

Quanto ao valor da dose de vibração da exposição ($VDVexp_j$) corresponde ao valor de dose de vibração representativo da exposição ocupacional diária em cada eixo de medição e pode ser obtido por meio da Equação 4, em que o $VDVexp_{ji}$ refere-se a esse valor representativo em cada eixo e o m refere-se ao número de componentes de exposição que compõem a exposição diária.

$$VDVexp_j = \left[\sum_{i=1}^m (VDVexp_{ji})^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

O valor da dose de vibração resultante ($VDVR$) deve ser calculado por meio da Equação 5, em que $VDVexp_j$ é o valor da dose de vibração da exposição diária e segundo a NHO 09 (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013) considera a resultante dos três eixos de medição.

$$VDVR = \left[\sum_j (VDVexp_j)^4 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (5)$$

Com os valores encontrados para o $aren$ e o $VDVR$, de acordo com a NHO 09 (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013), deve-se consultar a Tabela 1 que estabelecem os critérios de julgamento e tomadas de decisão. Assim, será possível determinar as medidas que devem ser consideradas para se controlar os níveis de exposição à vibração no operador.

TABELA 1: Critério de julgamento e tomada de decisão.

Aren (m/s²)	VDVR (m/s^{1,75})	Consideração técnica	Atuação recomendada
0 a 0,5	0 a 9,1	Aceitável	No mínimo manutenção da condição existente.
> 0,5 a < 0,9	> 9,1 a < 16,4	Acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas.
0,9 a 1,1	16,4 a 21	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária.
Acima de 1,1	Acima de 21	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas.

Fonte: NHO 09 (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013)

Com o objetivo de avaliar a dispersão e variabilidade dos dados foram construídos com gráficos *boxplot* por meio do *software* R versão 3.5.2 (R Development Core Team, 2018). Os dados mensurados foram analisados por meio do LD G4 *Utility Software* versão 3.06 (PCB Piezotronics, 2014-2017).

Resultados e Discussão

Os resultados do comportamento da somatória da aceleração ponderada são apresentados na Figura 5,

Ao sopesar a somatória da aceleração ponderada (Figura 5), constatou-se que para o Ensaio A houve uma maior dispersão, comportamento que pode ser atribuído às condições do solo, ou seja, área de bordadura do talhão com resíduo de colheita florestal. Ademais, outro aspecto que pode ter influenciado foi a umidade do solo, sendo que para o Ensaio A o teor de umidade médio ($w_{\text{médio}}$) foi de 7% e para o Ensaio B o ($w_{\text{médio}}$) foi de 5,8%.

FIGURA 5: Comportamento da somatória da aceleração ponderada dos três eixos no Ensaio A e no Ensaio B.

Fonte: Própria (2019).

Ao avaliar a variação da somatória ponderada das três direções de um sistema de coordenadas ortogonais no decorrer do tempo (Figura 6), constatou-se que os maiores valores de picos foram para a área com maior quantidade de resíduo da colheita de madeira (Ensaio A) o que pode ser explicado devido a maior dificuldade na realização da operação de subsolagem para esta condição operacional. Outro fator diretamente influenciado pela

presença do resíduo da colheita de madeira foi observado na aceleração ponderada predominante do Eixo Y (Eixo X: $0,8807 \text{ m/s}^2$, Eixo Y: $1,1304 \text{ m/s}^2$, Eixo Z: $0,8613 \text{ m/s}^2$). O fato pode ser corroborado conforme os estudos realizados por Kabir et al. (2017).

Na área sem resíduo da colheita de madeira (Ensaio B), a predominância da aceleração ponderada foi averiguada no Eixo Y, porém a diferença foi inferior (Eixo X: $0,7457 \text{ m/s}^2$, Eixo Y: $1,0126 \text{ m/s}^2$, Eixo Z: $0,8718 \text{ m/s}^2$) quando comparada ao Ensaio A. Segundo Melemez, Tunay e Emir (2013) ao avaliarem a operação de arraste de madeira realizada com um trator agrícola, constataram valores da aceleração ponderada acima do nível permitido. Não obstante, também foi constatada, a presença de picos de alta amplitude no Ensaio A em relação ao Ensaio B, o que pode ser explicado pela presença dos *outliers* apresentados na Figura 5.

FIGURA 6: Comportamento da somatória da aceleração ponderada dos três eixos no Ensaio A e no Ensaio B.

Fonte: Própria (2019).

Em análise, os valores médios da aceleração resultante da exposição normalizada e do valor da dose de vibração resultante (Tabela 2) constatou-se uma diferença de $0,19 \text{ m/s}^2$ do Aren entre os ensaios, contudo, pode ser considerado um valor de expressão para a VCI. Outrossim, a diferença do VDVR para os ensaios foi de $0,49 \text{ m/s}^{1,75}$, sendo assim, acatada como de importância irrelevante.

Por meio da análise dos critérios propostos pela NHO 09 (CUNHA; GIAMPAOLI, 2013), verificou-se que os valores referentes a dose de vibração resultante (VDVR) são superiores ao limite de exposição para os dois ensaios ($> 21 \text{ m/s}^{1,75}$). Já com relação aos

valores da aceleração resultante de exposição normalizada, para ambos os ensaios os valores foram superiores ao limite de tolerância ($1,1 \text{ m/s}^2$). Desta maneira, independente do critério adotado, a atuação recomendada pela normativa é a imediata adoção de medidas corretivas.

TABELA 2: Valores da aceleração resultante da exposição normalizada e valor da dose de vibração resultante para o Ensaio A e Ensaio B

Ensaio	Aren (m/s^2)	VDVR ($\text{m/s}^{1,75}$)
A	1,89	32,36
B	1,70	31,87

Fonte: Própria (2019).

Conclusões

Conforme os critérios estabelecidos na norma de higiene ocupacional que estabelece critérios para a avaliação da exposição ocupacional a vibração de corpo inteiro e nos valores aferidos, conclui-se que os tratores agrícolas com o implemento subsolador em ambas as condições operacionais apresentaram valores de aceleração e dose de vibração resultante que podem ser prejudiciais aos operadores durante a jornada diária de trabalho.

O valor da aceleração resultante da exposição normalizada foi superior a $1,1 \text{ m/s}^2$ e o valor da dose de vibração resultante excedeu o limite de $21 \text{ m/s}^{1,75}$.

Melhorias relacionadas ao sistema de amortecimento dos tratores agrícolas e nos assentos devem ser consideradas objetivando-se à prevenção de doenças ocupacionais que possam acometer os operadores.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa (Edital Universal nº 01/2016), processo 400500/2016-7.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ERGONOMIA – ABERGO. (2000). **Definição Internacional de Ergonomia.**

BALBINOT, A.; TAMAGNA, A. Avaliação da transmissibilidade da vibração em bancos de motoristas de ônibus urbanos: um enfoque no conforto e na saúde. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica.** Rio de Janeiro, RJ. v. 18, n. 1, p. 31-38, 2002.

BASRI, B.; GRIFFIN, M. Predicting discomfort from whole-body vertical vibration when sitting with an inclined backrest. **Applied Ergonomics**, Amsterdam, v. 44, n. 3, p. 423-434, 2013.

BECKER, T. **Desenvolvimento de uma mesa vibratória para estudos sobre vibração no corpo humano, medições em um grupo de motoristas e ajuste de um modelo biodinâmico**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia. UFRGS, Porto Alegre, 2006.

CUNHA, I. DE Â.; GIAMPAOLI, E. **Norma de Higiene Ocupacional (NHO 09): Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro**. São Paulo: FUNDACENTRO, 2013.

FERNANDES, J. C. **Segurança nas vibrações sobre o corpo humano**. Notas Técnicas. 2000. Disponível em: <www.saudeetrabalho.com.br>. Acesso em: 17.Set.2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Sustainable Agricultural Mechanization**. 2016.

GANGSAR, P.; TIWARI, R. Comparative investigation of vibration and current monitoring for prediction of mechanical and electrical faults in induction motor based on multiclass support vector machine algorithms. **Mechanical Systems and Signal Processing**, Amsterdam, v. 94, p. 464-481, 2017.

IIDA, I.; BUARQUE, L. **Ergonomia: Projeto e produção**. 3 ed. São Paulo, Brasil: Edgard Blucher, 2016, 850p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8041-1: **Human response to vibration - Measuring instrumentation**. Geneva, 2005.

KABIR, Md. S. N.; CHUNG, S-O.; KIM, Y-J.; SUNG, N-S.; HONG, S-J. Measurement and evaluation of whole body vibration of agricultural tractor operator. **International Journal of Agricultural & Biological Engineering**, Pequim, v. 10, n. 1, p. 248-255, 2017.

KADERLI, F; GOMES, H. M. Análise do conforto quanto à vibração em automóveis de passeio. **Revista Liberato**, Nova Hamburgo, v. 12, n. 18, p. 107-206, 2011.

KUMAR, R.; KUMARASWAMIDHAS, L. A.; MURTHY, V. M. S. R.; VETTIVEL, S. C. Experimental investigations on machine vibration in blast-hole drills and optimization of operating parameters. **Measurement**, Amsterdam, v. 145, p. 803-819, 2019.

LAM, F. M. H.; TANG, C.; KWOK, T. C. Y.; PANG, M. Y. C. Transmissibility and waveform purity of whole body vibrations in older adults. **Clinical Biomechanics**, Oxford, v. 51, p. 82-90, 2018.

LD G4 UTILITY SOFTWARE. **Sound level meters, human vibration meters and noise dosimeters**. USA, PCB Piezotronics Inc. 2014-2017.

LEHTO, M. R.; BUCK, J. R. **Introduction to human factors and ergonomics for engineers**. New York, Editora: Taylor & Francis, 2008, 969 p.

LOPES, J. L. Análise de vibração ocupacional de corpo inteiro em máquinas colhedoras de cana-de-açúcar. **Revista ABHO**, São Paulo, v. 26, n. 1, p.6-16, 2012.

MARGARIDO, D. R. **Metodologias para a avaliação dos níveis de vibração em estruturas do ponto de vista do conforto humano**. Dissertação. Porto, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.

MELEMEZ, K.; TUNAY, M.; EMIR, T. The role of seat suspension in whole-body vibration affecting skidding tractor operators. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Finlândia, v. 11, n. 1, p. 1211-1215, 2013.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. Conferência Internacional do Trabalho. **Convenção 148**. Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 1977. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D93413.htm>. Acesso em: 11.set.2019.

RAO, S. S. Vibrações mecânicas. 4.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.424p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, 2018.

REHN, B.; BERGDAHL, I. A.; AHLGREN, C.; FROM, C.; JARVHOLM, B.; LUNDSTROM, R.; NILSSON, T.; SUNDELIN, G. Musculoskeletal symptoms among drivers of all terrain vehicles. **Journal of Sound and Vibration**, Amsterdam, v. 253, n. 1, p. 21-29, 2002.

SALIBA, T. M. **Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração**. 9. ed. São Paulo: Ltr Editora Ltda, 2016, 144p.

SCARPIM A. C.; FERREIRA C. V. Vibrações ocupacionais: uma revisão da literatura. **Revista Ciência & Saberes**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 70-74, 2015.

SHERWIN, L. M.; OWENDE, P. M. O.; KANALI, C. L. LYONS, J.; WARD, S. M. Influence of forest machine function on operator exposure to whole-body vibration in a cut to length timber harvest. **Ergonomics**, Londres, v. 47, n. 11, p. 1145-1159, 2004.

SOTELO JUNIOR, J.; FRANÇA, L. N. F. **Introdução às vibrações mecânicas**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2006. 168 p.

SOUZA, L. H. et al. Níveis de ruído emitidos por uma recolhedora-trilhadora de feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 745–749, 2004.

VENDRAME, A. C. **Perícias Judiciais de Insalubridade e Periculosidade**. 4. ed. rev. amp. São Paulo: Ed. do autor, 2017. 355 p.

WALBER, M. **Avaliação dos níveis de vibração existentes em passageiros de ônibus rodoviários intermunicipais, análise e modificação projetual.** Tese. (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia. UFRGS, Porto Alegre, 2009.

ZEHS AZ, M.; SADEGHI, M. H.; ETTEFAGH, M. M.; SHAMS, F. Tractor cabin's passive suspension parameters optimization via experimental and numerical methods. **Journal of Terramechanics**, Amsterdam, v. 48, p. 439–450, 2011.