



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**JOSÉ WILSON NASCIMENTO DE SOUZA**

**USO DE LUVAS ANTIVIBRATÓRIAS NA ATENUAÇÃO DA VIBRAÇÃO EM  
OPERAÇÕES DE PREPARO DO SOLO UTILIZANDO MICROTRATOR**

**FORTALEZA**

**2019**

JOSE WILSON NASCIMENTO DE SOUZA

USO DE LUVAS ANTIVIBRATÓRIAS NA ATENUAÇÃO DA VIBRAÇÃO EM  
OPERAÇÕES DE PREPARO DO SOLO UTILIZANDO MICROTRATOR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- W719u Wilson Nascimento de Souza, José.  
Uso de luvas antivibratórias na atenuação da vibração em operações de preparo do solo utilizando microtrator  
/ José Wilson Nascimento de Souza. – 2019.  
51 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2019.  
Orientação: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.
1. Equipamento de proteção individual. 2. Transmissibilidade de vibração. 3. Ergonomia. I. Título.  
CDD 630
-

JOSÉ WILSON NASCIMENTO DE SOUZA

USO DE LUVAS ANTIVIBRATÓRIAS NA ATENUAÇÃO DA VIBRAÇÃO EM  
OPERAÇÕES DE PREPARO DO SOLO UTILIZANDO MICROTRATOR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas.

Aprovada em: 12/02/2019.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

A Deus.

Família, amigos e professores.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, pela orientação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola- PPGEA

Aos operadores De Leon e Sandoval pela disponibilidade e contribuição na realização deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas- LIMA, pela parceria e aprendizado.

Ao LIMPA (união dos grupos de pesquisa LIMA e NIMPA) pelas ideias compartilhadas em meio às conversas descontraídas na sala do departamento.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti e Prof. Dr. José Wally Mendonça Menezes pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

E aos demais colegas da turma de mestrado e do PPGEA, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

“Na corrida dessa vida é preciso entender que você vai rastejar, que vai cair, vai sofrer. E a vida vai lhe ensinar que se aprende a caminhar e só depois correr.”

**(Bráulio Bessa)**

## RESUMO

Durante a jornada de trabalho o operador de tratores e máquinas agrícolas se encontra frequentemente exposto a riscos, entre estes, os elevados níveis de vibração que podem comprometer sua saúde e reduzir seu desempenho. De acordo com a norma regulamentadora 06 do ministério do trabalho do Brasil, em atividades onde o trabalhador está exposto à vibração de mãos e braços é obrigatório o uso de luvas antivibratórias. Desta forma o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de três modelos de luvas na redução da vibração transmitida pelo conjunto microtrator/enxada rotativa, sendo dois modelos especificamente antivibratórias (L1 e L2) e um modelo alternativo anti-impacto (L3), operando em duas marchas (1ª e 2ª) e duas velocidades de rotação do implemento (265 e 520 rpm). O experimento foi realizado na área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Maquinas Agrícolas (LIMA), vinculado ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA) da Universidade Federal do Ceará (UFC) em Fortaleza. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema 4x2x2 sendo três modelos de luvas, e um tratamento controle que consistiu das mesmas condições de operação, porém sem o uso do EPI, para cada tratamento realizou-se 5 repetições, totalizando 80 unidades experimentais. Houve influência dos fatores marcha e rotação nos parâmetros avaliados. A luva 2, antivibratória e a luva 3, anti-impacto, na operação realizada em segunda marcha e rotação de 560 rpm no rotor da enxada apresentaram melhor desempenho, porém nenhum dos modelos de luvas avaliadas nas condições em que o trabalho foi conduzido apresentou capacidade de atenuação quando considerados os valores da aceleração resultante da exposição normalizada (aren).

**Palavras-chave:** Equipamento de proteção individual. Transmissibilidade de vibração. Ergonomia.

## ABSTRACT

During the working day the operator of tractors and agricultural machinery is often exposed to risks, among them, the high levels of vibration that can compromise his health and reduce his performance. According to regulation 06 of the Brazilian Ministry of Labor, in activities where the worker is exposed to the vibration of hands and arms, the use of antivibration gloves is mandatory. The objective of this study was to evaluate the efficiency of three models of gloves in the reduction of the vibration transmitted by the microtractor / rotary spindle assembly. Two models are specifically antivibratory (L1 and L2) and an alternative anti-impact model (L3) in two gears (1st and 2nd) and two rotational speeds of the implement (265 and 520 rpm). The experiment was carried out in the experimental area of the Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA), linked to the Departamento de Engenharia Agrícola (DENA) of the Universidade Federal do Ceará (UFC) in Fortaleza. The experimental design was a completely randomized design (DIC) in a 4x2x2 scheme, with three models of gloves, and a control treatment that consisted of the same operating conditions, but without the use of EPI, for each treatment, 5 repetitions were performed, totaling 80 units experiments. There was influence of the gait and rotation factors in the evaluated parameters. The glove 2, anti-vibration and glove 3, the anti-impact, in the operation performed in second gear and 560 rpm rotation in the hoe rotor presented better performance, however none of the glove models evaluated under the conditions in which the work was conducted showed attenuation capacity when considering the values of the acceleration resulting from normalized exposure (aren).

**Keywords:** Individual protection equipment. Transmissibility of vibration. Ergonomics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Enxada rotativa.....	18
Figura 2 -	Montagem das facas no eixo.....	18
Figura 3 -	Frequência natural do corpo humano.....	20
Figura 4 -	(1) Aceleração média (Root-mean-square), (2) nível médio, (3) valor de pico a pico e (4) valor de pico máximo.....	24
Figura 5 -	Área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas- LIMA.....	29
Figura 6 -	Microtrator modelo TC14S da marca Yanmar Agritech utilizado no experimento.....	30
Figura 7 -	Localização do acelerômetro para coleta dos dados.....	32
Figura 8 -	(A) Analisador de vibração HD 2030 da Delta OHM; (B) Acelerômetro triaxial PC Piezotronics, 356A02.....	32
Figura 9 -	Valores médios de transmissibilidade (%) nos eixos X, Y e Z na marcha 1 e na rotação 1 no rotor da enxada rotativa (M1R1).....	37
Figura 10 -	Valores médios de transmissibilidade (%) nos eixos X, Y e Z na marcha 1 e na rotação 2 no rotor da enxada rotativa (M1R2).....	38
Figura 11 -	Valores médios de transmissibilidade (%) nos eixos X, Y e Z na marcha 2 e na rotação 1 no rotor da enxada rotativa.(M2R1).....	40
Figura 12 -	Valores médios de transmissibilidade (%) nos eixos X, Y e Z na marcha 2 e na rotação 2 no rotor da enxada rotativa(M2R2).....	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Critério de julgamento e tomada de decisão estabelecidos pela NHO-10.....	25
Tabela 2 - Umidade e resistência à penetração do solo.....	30
Tabela 3 - Modelos de luvas avaliadas no trabalho quanto à redução de transmissibilidade de vibração.....	31
Tabela 4 - Tratamentos utilizados no experimento.....	35
Tabela 5 - Teste F para RMS, Pico máximo e aren.....	36
Tabela 6 - Valores médios de aceleração resultante da exposição normalizada.....	41
Tabela 7 - Valores médios de pico máximo de aceleração nos eixos X, Y e Z.....	43
Tabela 8 - Valores médios de aceleração resultante da exposição normalizada.....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SMB	Sistema Mãos e Braços
NHO	Normas de Higiene Ocupacional
EPI	Equipamento de Proteção Individual
ISO	International Organization for Standardization
NR	Norma Regulamentadora
FUNDACENTRO	Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
aren	Aceleração resultante da exposição normalizada
rms	<i>Root-means-square</i> (Aceleração média nos eixos X, Y ou Z)
PMAX <sub>j</sub>	Pico máximo nos eixos X, Y e Z
SEAT	<i>Seat effective amplitude transmissibility</i> (amplitude efetiva da transmissibilidade do assento)
AET	Amplitude efetiva da transmissibilidade
VDV	Valor da dose de vibração

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Mecanização Agrícola.....</b>	<b>15</b>
2.1.1	<i>Microtratores.....</i>	16
2.1.1	<i>Enxada Rotativa.....</i>	17
<b>2.2</b>	<b>Ergonomia.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Vibração.....</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Condições de operação e a higiene ocupacional em trabalhos rurais.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5</b>	<b>Danos à saúde e rendimento do operador causado pela vibração ocupacional de mãos e braços.....</b>	<b>22</b>
<b>2.6</b>	<b>Vibração em operações com tratores agrícolas.....</b>	<b>23</b>
<b>2.7</b>	<b>Legislação Relativa à Vibração.....</b>	<b>24</b>
<b>2.8</b>	<b>Uso de EPI's como meio de proteção.....</b>	<b>25</b>
2.8.1	<i>Luvas antivibratórias.....</i>	25
<b>2.9</b>	<b>Avaliação do efeito da transmissibilidade (SEAT%).....</b>	<b>26</b>
<b>2.10</b>	<b>Capacidade atenuante dos materiais antivibratórios.....</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Umidade e resistência do solo.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Microtrator e implementos utilizados.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3</b>	<b>Luvas Antivibratórias.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4</b>	<b>Procedimentos de medição, localização e fixação dos acelerômetros.....</b>	<b>31</b>
<b>3.5</b>	<b>Características do operador.....</b>	<b>33</b>
<b>3.6</b>	<b>Parâmetros de vibração ocupacional avaliados de acordo com a NHO10.....</b>	<b>33</b>
<b>3.7</b>	<b>Avaliação da transmissibilidade.....</b>	<b>33</b>
<b>3.8</b>	<b>Análises estatísticas.....</b>	<b>34</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>AET%- Amplitude efetiva da transmissibilidade da luva.....</b>	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>Aceleração média (rms) nos eixos X, Y e Z.....</b>	<b>41</b>
<b>4.3</b>	<b>Pico máximo nos eixos X, Y e Z (P<sub>MAXj</sub>).....</b>	<b>42</b>

<b>4.4</b>	<b>Aceleração resultante de exposição normalizada – aren.....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Durante a jornada de trabalho o operador de tratores e máquinas agrícolas se encontra frequentemente exposto a riscos, entre estes, os elevados níveis de vibração que podem, em caso de doses de exposição excessivas, comprometer sua saúde e consequentemente reduzir a eficiência e a qualidade da sua atividade no campo.

No Brasil, as Normas de Higiene Ocupacional (NHO) estabelecem limites de exposição e critérios para a verificação de possíveis efeitos nocivos à saúde, conforto e percepção dos operadores. Nos casos da exposição à vibração transmitida ao Sistema Mãos e Braços (SMB) a norma que estabelece os critérios de avaliação e limites de exposição é a NHO 10 elaborada pela Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO).

Há ainda Normas Regulamentadoras (NRs), entre elas a NR 06 do Ministério do Trabalho que estabelece a obrigatoriedade das empresas de fornecer aos empregados, gratuitamente, equipamento de proteção individual (EPI), devendo também exigir seu uso sempre que o empregado esteja exposto a qualquer situação de risco. De acordo com o anexo I da NR 06 do Ministério do Trabalho, para a exposição à vibração no Sistema Mãos e Braços, é obrigatório o uso de luvas antivibratórias, tais luvas se propõem reduzir a transmissibilidade da vibração emitida pelo equipamento utilizado.

Na literatura científica pouco se encontra relativo à utilização de luvas antivibratórias e sua eficiência, principalmente em atividades do setor agrícola, de modo especial em operações com microtratores, considerando todos os fatores que podem influenciar na transmissibilidade de vibração ao Sistema Mãos e Braços (SMB).

Desta forma o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de três modelos de luvas na redução da transmissibilidade de vibração ao SMB pelo conjunto microtrator/enxada rotativa, operando em duas marchas (1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup>) e duas velocidades no rotor da enxada rotativa (265 e 520 rpm).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Mecanização Agrícola

A escassez de mão de obra no campo é um problema crescente nas zonas agrícolas em todo o mundo. Também é preocupante o aumento da demanda por alimentos, atualmente se consome mais do que se produz (SILVA; TAVARES, 2018), devido também ao crescimento da população mundial exigindo, portanto, o aprimoramento constante dos processos de produção.

O uso de máquinas e implementos agrícolas é um fator importante neste contexto, permitindo a racionalização do trabalho agrícola, aumentando a produtividade e reduzindo o esforço realizado pelo trabalhador rural (RODRIGUES *et al.*, 2006). Deste modo é evidente a tendência à modernização da agricultura cada vez mais mecanizada diante das necessidades do mercado, utilizando tratores, colhedoras e implementos agrícolas, que incrementam a lucratividade dos empreendimentos rurais (VASCOCELOS; SILVA; MELO, 2012).

A mecanização agrícola é essencial na agricultura moderna otimizando atividades de preparo de solo, adubação e colheita, atividades antes realizadas fazendo uso da força humana ou animal. Atualmente tais operações são realizadas utilizando-se máquinas cada vez mais modernas (MORAES, 2015), auxiliando na garantia de produtividade e permitindo o cultivo de maiores áreas (CUNHA; DUARTE; RODRIGUES, 2009).

A mecanização tem como grande benefício o fato de ser eclética e acessível podendo ser utilizada pelos pequenos, médios e grandes produtores utilizando-se de tecnologias adequadas, como a tração animal ou motocultivadores, tratores e máquinas agrícolas ou máquinas autopropelidas e sistemas de sensoriamento remoto respectivamente (ALBIERO *et al.*, 2015)

Os tratores agrícolas constituem a mais importante fonte de potência no meio rural, pois contribuem para o desenvolvimento e avanço tecnológico dos sistemas agrícolas responsáveis pela produção de alimento (MONTEIRO; ALBIERO, 2013), sendo este avanço tecnológico dos sistemas de produção uma demanda mundial urgente.

O trator agrícola é constituído de vários componentes, com funções específicas de transformação e transferência de energia para sua locomoção e movimentação das máquinas e implementos acoplados (SENAR, 2010), dividindo-se basicamente em tratores 4x2, 4x2 com Tração Dianteira Auxiliar (TDA) e tratores de duas rodas.

### 2.1.1 Microtratores

Os tratores de duas rodas são chamados de motocultivadores ou tratores de rabiça. Geralmente acompanham esta máquina uma enxada rotativa posterior às duas rodas motrizes, que pode ser substituída por arados, carretas, pulverizadores ou outro implemento (MACHADO *et al.*, 2010). Estes tratores podem ainda ser chamados de microtratores. A Norma Regulamentadora 12 (NR-12) do Ministério do Trabalho do Brasil define os microtratores como equipamentos motorizados de duas rodas utilizados para a tração de implementos diversos, em atividades que incluem desde o preparo de solo até colheita. Tendo como principal característica que o difere dos tratores convencionais de quatro rodas o fato de o operador caminhar atrás do equipamento durante o trabalho.

De acordo com Albiero *et al.* (2015), é necessário considerar o poder aquisitivo do produtor e o tamanho da propriedade, entre outros fatores, no momento da escolha dos equipamentos a serem empregados. O emprego correto dos conjuntos mecanizados pode gerar importante economia no consumo de energia e, em consequência, menor custo de operação e maior lucro para a empresa agrícola (MONTEIRO, 2010). Nas pequenas propriedades os microtratores, equipamentos de baixa potência, são empregados devido a uma série de fatores como preço de aquisição, menor consumo de combustível e custo de manutenção e, dependendo da demanda do produtor, podem suprir as necessidades das lavouras (NASCIMENTO, 2012). De acordo com Machado *et al.* (2010), os microtratores são indicados para a realização de qualquer operação agrícola em áreas de até 30 hectares.

Araújo *et al.* (2011) verificaram a viabilidade técnica e econômica do uso do microtrator em substituição à força animal, no sistema de manejo florestal. Verificou-se também no mesmo trabalho que além dos aspectos vantajosos, como aumento da produtividade, a simplicidade de manuseio, custo operacional e impactos ambientais reduzidos, o microtrator pode ser utilizado não apenas no manejo madeireiro, mas durante todo o ano para outros fins, sendo portanto uma máquina acessível a produtores de baixa renda. Contudo, os microtratores transmitem elevadas doses de vibração ao operador, sendo importante elaborar um cronograma de trabalho a fim de reduzir os níveis das doses de exposição (ALBIERO *et al.*, 2015). Estas frequências vibratórias podem afetar a visão, causar irritabilidade, deformações lombares e problemas digestivos. Portanto, devem ser eliminadas, ou reduzidas o máximo possível (CUNHA; DUARTE; RODRIGUES, 2009).

Para a eliminação ou redução dos níveis de vibração em máquinas o mais adequado é a mudança no projeto da mesma. Com o uso de sensores de alta velocidade,

computadores e vibradores disponíveis, já é possível eliminar algumas vibrações pela compensação imediata por uma vibração exatamente oposta eliminando virtualmente os efeitos da vibração original (KROEMER; GRANDJEAN, 2005). Mudanças no projeto são medidas que exigem mais tempo e recurso, portanto quando não é possível atuar sobre a fonte a recomendação é reduzir a transmissão da vibração utilizando revestimento nas peças com material antivibratório no caso das ferramentas manuais ou nos assentos (DUL; WEERDMEESTER, 2012).

Além da vibração e ruído, sabe-se que os tratores agrícolas em circulação no país apresentam outros importantes problemas relativos ao conforto e segurança para os operadores (CUNHA; DUARTE; RODRIGUES, 2009). Para Santos Filho (2004), o conforto do tratorista é um importante diferencial na elevação da produtividade em operações agrícolas.

A mecanização representa um fator de grande importância para a competitividade em termos de custo, constituindo o segundo fator de produção mais importante, inferior apenas à posse da terra (PELOIA; MILAN, 2010). Ainda assim a ergonomia não é uma preocupação frequente na agricultura, embora os tratores agrícolas sejam o principal objeto de estudo e pesquisa por empresas desenvolvedoras de máquinas agrícolas, considerando a larga escala de utilização (MONTEIRO, 2010).

### ***2.1.2 Enxada rotativa***

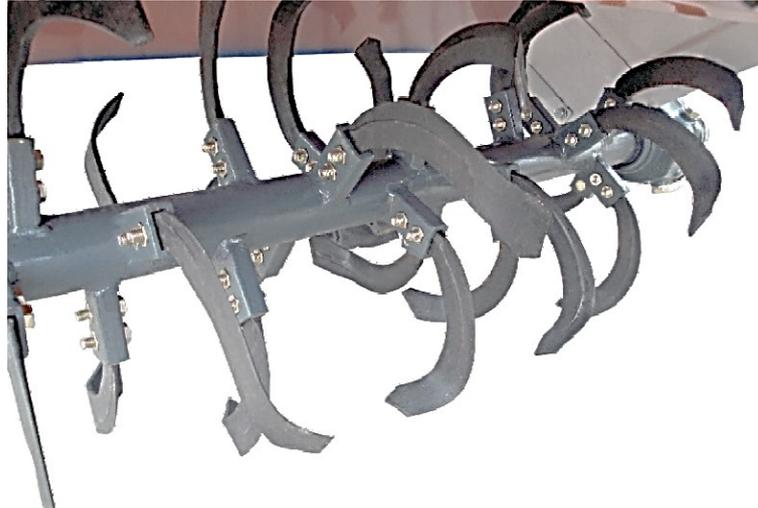
As enxadas rotativas são constituídas de um eixo perpendicular à direção do deslocamento da máquina, suportado por dois ou mais mancais, fixado nesse eixo flanges onde são fixadas as facas (BALASTREIRE, 1990).

As enxadas podem ser utilizadas no controle de ervas daninhas, sendo frequentemente utilizadas no preparo de solo em horticultura e olericultura (SILVEIRA, 2001), nestes casos é comum o emprego das enxadas acopladas a microtratores.

Em função da finalidade da operação são utilizadas basicamente dois tipos de órgãos ativos nas enxadas rotativas, em “L” para terrenos secos e limpos e “C” para terrenos úmidos (SILVEIRA, 2001).

O arranjo das facas no rotor e seu número variam entre fabricantes e em função desse parâmetro produzem efeitos diferentes no solo (BALASTREIRE, 1990).

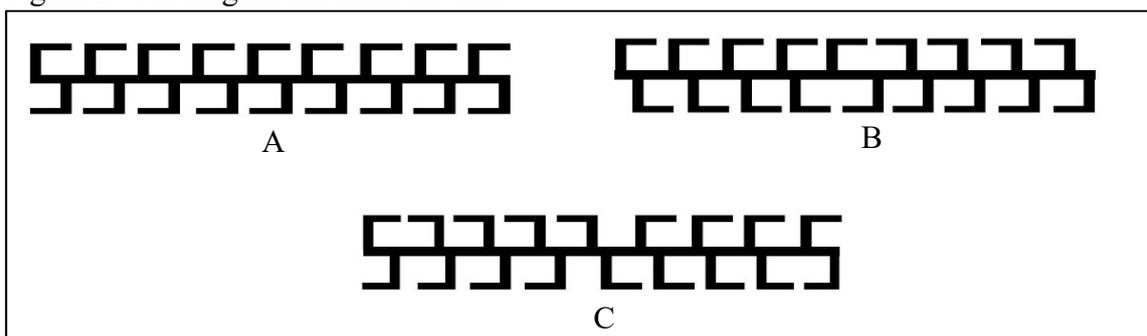
Figura 1 - Enxada rotativa



Fonte: Manual do Operador (MONTANA, 2011).

Este arranjo pode ser: facas com curvas direita e esquerda opostas (Figura 2A), facas com todas as curvaturas apontadas para o centro (figura 2B) e facas com as curvaturas direita e esquerda apontadas para fora (figura 2C). Utilizando a montagem representada na figura 2A, o terreno ficará com uma superfície nivelada, lisa. No caso representado na figura 2B será formada uma leve saliência ao centro da área lavrada e, na disposição das facas como na figura 2C, a área lavrada apresentará leve desnivelamento central, como um canal (MONTANA, 2011).

Figura 2 - Montagem das facas no eixo



Fonte: Manual do Operador (MONTANA, 2011).

## 2.2. Ergonomia

Ergonomia é a palavra de origem grega derivada de *ergon* (trabalho) e *nomos* (regras) utilizada para designar a ciência aplicada que estuda as interações dos homens com os

outros elementos de um sistema com o objetivo de melhorar o bem-estar humano e o desempenho pleno do sistema (DUL; WEERDMEESTER, 2012).

De acordo com Iida (2005), existem diversos conceitos para definir ergonomia, entretanto todos procuram ressaltar o caráter interdisciplinar e o objeto de estudo que é a interação entre o homem e o trabalho. De todas as definições de ergonomia, o autor a define como sendo o estudo da adaptação do trabalho ao homem.

A ergonomia estuda os diversos fatores que podem comprometer o desempenho dos processos produtivos e busca eliminar ou reduzir as consequências nocivas sobre o trabalhador (IIDA, 2005), por isto pode cooperar para resolução de um grande número de problemas sociais relacionados a saúde, segurança, conforto e eficiência (DUL; WEERDMEESTER, 2012).

Na agricultura executa projetos de melhorias em máquinas agrícolas, atuando no período de colheita, armazenagem e transporte de produtos agrícolas (MARTINS; FERREIRA, 2015).

A agricultura é uma atividade que demanda elevado consumo de energia humana, tanto no manejo direto dos recursos naturais quanto das máquinas agrícolas (BASTOS; BIFANO, 2017). As excessivas horas de trabalho diárias do operador de máquinas agrícolas faz com que problemas de ordem física e psicológica se agravem consideravelmente ao longo dos anos (RIBAS, 2012).

Os estudos ergonômicos têm como objetivo realizar mudanças nas condições e no ambiente de trabalho, aperfeiçoando e adaptando máquinas e equipamentos, em função das características físicas e condições psicológicas do trabalhador, a fim de propiciar-lhe segurança, saúde e conforto e, em consequência, obter maior eficiência no trabalho (MONTEIRO, 2012). A ergonomia deve atender aos objetivos sociais de bem-estar do trabalhador e econômicos, garantindo o máximo desempenho (DUL; WEERDMEESTER, 2012). Portanto, estudos ergonômicos nas atividades agrícolas são extremamente importantes visto que este é um espaço onde se sucedem grandes transformações tecnológicas que modificam a vida dos trabalhadores (TEIXEIRA; FREITAS, 2003).

### **2.3 Vibração**

Vibrações são oscilações da massa de um corpo em função de um ponto fixo (KROEMER; GRANDJEAN, 2005). Fernandes *et al.* (2003) definem a vibração mecânica como sendo o movimento de um ponto material ou um corpo que oscila em torno de uma

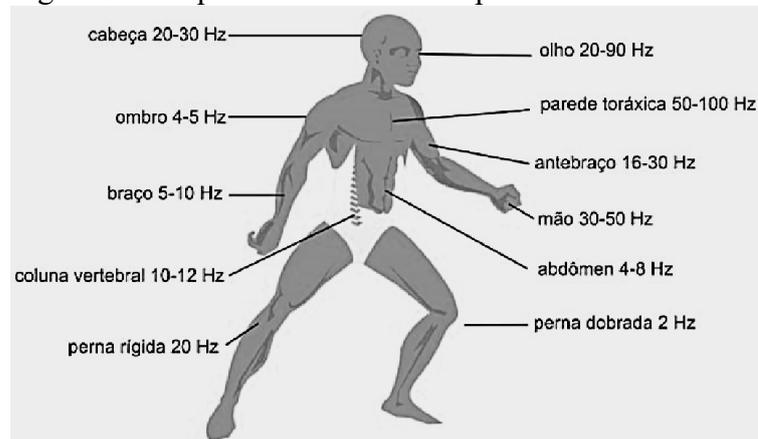
posição de equilíbrio. Dul e Weerdmeester (2012) definem as vibrações como uma mistura complexa de diversas ondas com frequências e direções diferentes.

Para Iida e Guimarães (2016) a vibração é intrínseca dos corpos que possuem massa e rigidez. Um corpo está em vibração quando descreve um movimento oscilatório em torno de um ponto fixo. O número de vezes em que o ciclo completo do movimento se repete durante o período de um segundo é chamado de frequência medida em ciclos por segundo ou Hertz [Hz] (VENDRAME, 2017).

A vibração ocupacional pode afetar o corpo inteiro ou apenas partes do corpo, como mãos e braços. A frequência (Hz), intensidade ( $m\ s^{-2}$ ) e duração (tempo) são os três fatores que influenciam o efeito da vibração, a partir da análise desses componentes calculam-se o nível médio das vibrações e seu impacto sobre o corpo (DUL; WEERDMEESTER, 2012).

O corpo humano possui diversos órgãos e cada um deles possui uma frequência natural (Figura 3), dependendo do nível de vibração recebido poderá ocorrer uma amplificação da vibração natural, fazendo o órgão vibrar na mesma frequência, ocorrendo o fenômeno de ressonância por isto a absorção de energia por vibração no sistema mãos e braços é uma das medidas biodinâmicas mais importantes que podem ser usadas para quantificar a exposição à vibração e avaliar seus efeitos potenciais (DEWANGAN; TEWARI, 2009). O corpo humano é uma complexa estrutura biodinâmica e a sensibilidade deste sistema à vibração envolve diversos fatores como postura, tensão muscular, frequência, amplitude e direção da vibração além da duração e dose da exposição (BALBINOT, 2001). As vibrações ocupacionais podem gerar problemas de visão, irritabilidade, deformações lombares e problemas digestivo (CUNHA; DUARTE; RODRIGUES, 2009).

Figura 3 - Frequência natural do corpo humano



Fonte: Vendrame (2017).

## 2.4 Condições de operação e a higiene ocupacional em trabalhos rurais

Variáveis como a velocidade de deslocamento, profundidade das operações, pressão de inflação interna de ar nos pneus, condições da superfície de deslocamento entre outras, podem elevar os níveis de vibração transmitida aos operadores e são considerados em vários estudos relativos às questões de higiene ocupacional na agricultura. Santos *et al.* (2013) verificaram que houve influência da velocidade de deslocamento do conjunto trator-pulverizador na elevação da dose de vibração transmitida. Santos Filho *et al.* (2003), avaliando os níveis de vibração no assento de um trator em função das marchas, verificaram que de acordo com a norma ISO 2631, os valores de aceleração ponderada global calculados encontravam-se acima dos limites determinados para uma exposição durante 4 horas de trabalho. Servadio *et al.* (2007) também verificaram que apesar das diferentes características técnicas de dois pneus utilizados em seu trabalho e a diferença de comportamento em relação ao aumento da velocidade, o desempenho dos pneus não diferiram nos valores de fadiga limitados a 4 h para todos os tratamentos. Santos (2016), ao avaliar os níveis de vibração em função da pressão de inflação dos pneus e da cobertura vegetal ou não da superfície de rolamento, verificou que a melhor condição de trabalho se deu na área com material de cobertura, na velocidade de 4,3 km h<sup>-1</sup> e pressão interna de ar nos pneus mínima (10 lb.pol<sup>2</sup> nos rodados dianteiros e 12 lb.pol<sup>2</sup> nos rodados traseiros).

A velocidade de operação deve ser adequada às condições do solo ou dos caminhos que o trator irá percorrer (MONTEIRO; ALBIERO, 2013). Durante as operações agrícolas a velocidade de deslocamento dos tratores é apontada como um dos importantes fatores que influenciam na modificação das propriedades físicas do solo (FEITOSA *et al.*, 2015), no consumo energético, no rendimento operacional dos conjuntos mecanizados, na qualidade das operações, conforto e rendimento dos operadores.

A velocidade de deslocamento dos tratores agrícolas também está diretamente associada aos níveis de vibração que incide sobre os operadores. Nos ensaios de Moraes (2015) os valores da dose de vibração foram crescentes em função do aumento da velocidade de deslocamento, apresentando diferença estatística em todas as velocidades. Sandi (2015) em estudos de vibração de corpo inteiro concluiu que, as melhores condições de conforto em relação a vibração do corpo do operador ocorrem em condições de menores velocidades de deslocamento do trator enquanto as maiores velocidades geraram as piores condições em todos os parâmetros avaliados no trabalho. Tais resultados corroboram Moraes (2015) que

também verificou que velocidades de deslocamento mais reduzidas do trator contribuíram para as melhores condições de conforto ao operador em relação a vibração no corpo.

Deve-se considerar também que os níveis das frequências de vibração variam dentro de um mesmo limite de velocidade também em função de variáveis como tipo de solo, grau de compactação, superfície de deslocamento, pressão de inflação dos pneus, tipo de rodado, implemento e operação entre outros.

Cunha, Duarte e Rodrigues (2009) registraram níveis de vibração inferiores aos limites estabelecidos para oito horas de trabalho para um trator operando na rotação de 1.700 rpm, com o arado de disco. No entanto, para 1.850 rpm e 2.000 rpm, no sentido do deslocamento do trator, os níveis de vibração superaram os limites de exposição diária de 8 horas, atingindo, em algumas frequências, valores não aceitáveis para a operação.

## **2.5 Danos à saúde e rendimento do operador causado pela vibração ocupacional de mãos e braços.**

A exposição frequente a vibrações ocupacionais pode causar modificações patológicas das partes do corpo envolvidas, sendo que para as partes sujeitas à vibração, a coluna vertebral e os membros superiores, o tipo de patologia é diferente (REGIS FILHO *et al.*, 2010).

De acordo com a ISO 5349-1/2001, a exposição excessiva à vibração transmitida à mão e braço pode induzir a distúrbios no fluxo sanguíneo dos dedos e em funções motoras da mão e braço. Como também afirmam Regis Filho *et al.* (2010), a vibração pode lesionar diretamente os nervos periféricos, terminais nervosos e mecanorreceptores, gerando os sintomas de amortecimento, formigamento, dor e perda de sensibilidade.

O termo Síndrome da Vibração de Mão e Braço, (SVMB) ou em inglês Hand-arm Vibration Syndrome (HAVS), é comumente usado para se referir às desordens vasculares, neurológicas e musculoesqueléticas associadas à exposição a vibrações transmitidas à mão. Trabalhadores expostos a excessos de vibração no SMB podem ser afetados por distúrbios neurológicos e vasculares de forma separada ou simultaneamente.

A exposição diária a vibrações no posto de trabalho podem levar a mudanças mórbidas nos órgãos atingidos, na coluna de operadores de trator são conhecidos os problemas nos discos, atrofia e artrite, incidência acima da média de problemas intestinais, na próstata, hemorroidas e ainda a doença de Raynaud que consiste na “morte dos dedos”,

geralmente o médio, devido a danos aos vasos sanguíneos e nervos da mão causados pela exposição constante a vibração (KROEMER; GRANDJEAN, 2005).

## **2.6 Vibração em operações com tratores agrícolas**

Monteiro e Albiero (2013) afirmam que a utilização mais intensa de máquinas agrícolas elevaram os riscos a que estão sujeitos os trabalhadores rurais.

Os estudos ergonômicos dos tratores agrícolas são importantes para prevenir doenças relacionadas ao trabalho considerando que nem sempre estas máquinas oferecem o conforto necessário aos operadores (SANTOS *et al.*, 2016). As excessivas horas de trabalho diárias do operador de máquinas agrícolas faz com que problemas de ordem física e psicológica se agravem consideravelmente ao longo dos anos (RIBAS, 2012).

A vibração é um agente físico nocivo que pode ser observado em diversas atividades laborais do meio rural, podendo de acordo com a atividade executada, submeter os trabalhadores às vibrações no sistema mãos e braços, também chamadas vibração de extremidades ou localizadas e, as vibrações de corpo inteiro (MORAES, 2015). Os operadores de máquinas estão frequentemente expostos a estes dois tipos de vibração sendo que ambas contribuem para a fadiga e prejuízo no rendimento e saúde do operador (GOGLIA *et al.*, 2003).

Na área da transmissibilidade de vibração ao corpo humano a vibração incidente ao sistema mãos e braços é o segundo maior problema (BRAGA, 2007). A exposição à vibração transmitida ao SMB vem assumindo considerável importância, pois representa risco para a saúde ocupacional dos operadores como lesão neurológica, vascular e musculoesquelética, por esta razão deve ser controlada e avaliada (MILHO, 2009).

O operador de tratores agrícolas ao mesmo tempo em que controla o implemento e mantém o trator alinhado é submetido durante horas, ao sol, à chuva, ao frio, à poeira e à fumaça, além de elevados níveis de ruído e de vibrações (SOUZA, *et al.*, 2003) que quando em excesso, geram incômodo ao operador, aumentando seu desconforto físico e mental (FERNANDES *et al.*, 2003)

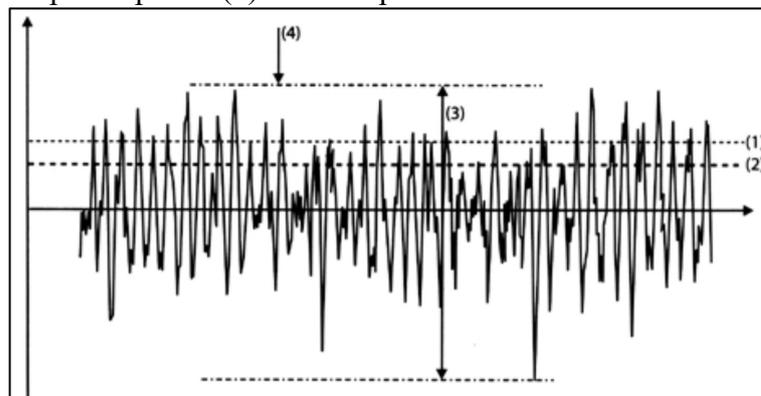
O conforto do trator para o operador é verificado por meio de análises subjetiva ou objetiva. A análise subjetiva é mais simples consistindo na avaliação do conforto por meio de uma ou mais pessoas, que tenham experiência na área. (FERNANDES *et al.*, 2003), já a análise objetiva para verificar o conforto do operador é feita pela determinação da amplitude, direção, frequência e duração das vibrações (RIBAS *et al.*, 2014). Considerando que à medida

que as técnicas de isolamento e redução da vibração vão se integrando aos projetos de máquinas, surge a necessidade cada vez maior de proceder medições e análises mais precisas da vibração (XIMENES; MAINIER, 2005).

## 2.7 Legislação Relativa à Vibração

O anexo 8 da NR 15 trata da insalubridade das atividades envolvendo a exposição a vibrações. De acordo com a norma as atividades e operações que exponham os trabalhadores, sem proteção adequada às vibrações de mãos e braços ou de corpo inteiro, serão classificadas como insalubres, através de perícia realizada no local de trabalho. Tal perícia visando a comprovação da exposição deve ter por base os limites de tolerância definidos pela Organização Internacional para a Normalização em suas normas ISO 2631 e ISO/DIS 5349 (BRASIL, 2017). A NHO 10 é a norma brasileira utilizada na identificação e quantificação da exposição ocupacional a vibrações em mãos e braços, tem por objetivo estabelecer critérios e procedimentos de avaliação da exposição a vibrações no SMB que possam gerar risco à saúde do trabalhador, entre estes riscos o de ocorrência da síndrome da vibração em mãos e braços (SVMB) (FUNDACENTRO, 2013). A norma cita como referência normativa a ISO 5349-1 (2001): A ISO 5349-2 (2001) e a ISO 8041 (2005) recomendando o acompanhamento de futuras atualizações ou substituições. Na figura 4 adaptado de Vendrame (2017) estão ilustrados os limites de alguns dos parâmetros avaliados.

Figura 4- (1) Aceleração média, (2) nível médio, (3) valor de pico a pico e (4) valor de pico máximo



Fonte: Vendrame (2017).

Para a tomada de decisão em função da aceleração resultante de exposição normalizada ( $a_{ren}$ ) encontrada nas condições de exposição avaliadas, a NHO 10 estabelece os critérios descritos na tabela 1:

Tabela 1 - Critério de julgamento e tomada de decisão estabelecidos pela NHO-10

<b>aren (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>Consideração técnica</b>	<b>Atuação recomendada</b>
0 a 2,5	Aceitável	No mínimo, manutenção da condição existente.
> 2,5 a < 3,5	Acima do nível de ação	No mínimo, adoção de medidas preventivas.
3,5 a 5,0	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando a redução da exposição diária
Acima de 5,0	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

Fonte: FUNDACENTRO (2013).

## **2.8 Uso de EPI's como meio de proteção**

A NR 06 determina que a empresa é obrigada a fornecer aos empregados, Equipamento de Proteção Individual (EPI) adequado ao risco que este esteja exposto no exercício de sua função, gratuitamente e em perfeito estado de conservação e funcionamento.

De acordo com a mesma norma cabe ao empregador a aquisição do EPI adequado ao risco de cada atividade, a exigência do uso no ambiente de trabalho, fornecer apenas EPI aprovado pelo órgão competente, higienização, treinamento sobre o uso adequado e a comunicação ao Ministério do Trabalho sobre qualquer irregularidade.

Ao empregado a norma estabelece que a ele cabe o uso apenas para a finalidade a que o EPI foi desenvolvido, responsabilizar-se pela guarda, comunicar sobre qualquer alteração que o torne impróprio e cumprir as determinações do empregador sobre o uso adequado.

Ao mesmo tempo em que os EPIs devem possibilitar proteção ao operador contra possíveis riscos de acidentes, também não pode causar desconforto e limitações para movimentação ao trabalhador (NESI, 2011).

### **2.8.1 Luvas antivibratórias**

A mitigação do problema da vibração está ligada a fatores como a redução da intensidade dos mesmos na fonte, à redução do tempo de exposição e ou ao uso de equipamentos de proteção individual (CUNHA, 2012).

Luvas antivibratórias têm sido frequentemente usadas para ajudar a reduzir a exposição à vibração no sistema mãos e braços (DONG *et al.*, 2009). O uso de luvas antivibratórias faz parte das medidas preventivas preconizadas para a redução da exposição às vibrações ao SMB (TURCOT; LEHOUX, 2016)

As luvas segundo Neri (2011) tem o propósito de proteger a mão do operador contra cortes e perfurações e reduzir as vibrações. Tal proteção se dá devido a tratamento de amortecimento dos elementos estruturais que compõem o percurso de transmissão, de modo a absorver parte da energia vibratória produzida.

O uso de luvas antivibratórias em determinadas atividades encontra certa resistência por parte dos trabalhadores. No trabalho de Turcot e Lehoux (2016) os maiores obstáculos são relativos a diminuição da destreza, desconforto e a uma perturbação na execução do seu trabalho.

A queda no rendimento do operador pode influenciar na receptividade do mesmo ao uso das luvas antivibratórias durante sua jornada de trabalho. Messias (2014) verificou que nem sempre as luvas atenuam a vibração transmitida ao punho dos operadores.

Dong *et al.* (2009), afirmam que alguns fatores afetam propriedades que podem influenciar na eficiência das luvas e que é difícil julgar sem especificar suas condições de aplicação. Mansfield (2005) afirma ainda que muitas luvas amplificam a vibração nas frequências em que a mão é mais sensível. Tais afirmações justificam a necessidade de mais estudos relativos aos benefícios do uso e eficiência na atenuação da transmissibilidade de vibração por parte das luvas antivibratórias.

## **2.9 Avaliação do efeito da transmissibilidade (SEAT%)**

A transmissibilidade é a razão entre a energia que é medida em um ponto de entrada pela energia medida no ponto de saída na mesma direção (MANSFIELD, 2005). São necessários estudos dos materiais constituintes dos equipamentos que visam reduzir a transmissão da vibração visto que no caso dos assentos dos tratores, por exemplo, é comprovado que alguns tipos podem amplificar as vibrações transmitidas ao operador, (GANNON, 2017).

De acordo com Costa (2018) para medir a transmissibilidade de vibração a norma ISO 2631:1997, recomenda a metodologia SEAT (%), um método numérico utilizado para avaliar a eficiência da isolamento do assento (Equação 1).

O valor SEAT abaixo de 100% significa que o assento está atenuando a vibração do piso (ADAM; JALIL, 2017).

$$SEAT(\%) = \frac{VDV_{wp}}{VDV_{wa}} \times 100 \quad (1)$$

Sendo,

SEAT% = *Seat effective amplitude transmissibility* (amplitude efetiva da transmissibilidade do assento);

VDV<sub>wa</sub> = Valor de dose de vibração nos eixos x, y ou z no assento (m.s<sup>-1,75</sup>);

VDV<sub>wp</sub> = Valor de dose de vibração nos eixos x, y ou z no piso (m.s<sup>-1,75</sup>).

A norma estabelece como SEAT a razão do VDV nos eixos X, Y ou Z no assento e o VDV nos três eixos no piso do trator. Adaptando a metodologia Adam e Jalil (2017), calcularam o valor do índice utilizando o valor observado de root-means-square (rms) e verificaram que os valores calculados de SEAT sugeriram que a suspensão do trator ensaiado tem um efeito mínimo em atenuar a vibração transmitida à pessoa.

Aceleração média ( $am_j$ ) ou Root-mean-square (rms) é a raiz média quadrática dos diversos valores da aceleração instantânea ocorridos em um período de medição, expressa em m s<sup>-2</sup>, na direção “j”, definida pela seguinte expressão:

$$am_j = \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a_j^2(t) dt \right\}^{1/2} \quad [m / s^2]$$

O rms é, portanto, o valor eficaz do movimento vibratório e que indica o potencial destrutivo da vibração na direção do eixo X, Y e Z.

## 2.10 Capacidade atenuante dos materiais antivibratórios

Algumas medidas possíveis para reduzir o efeito das vibrações incluem desde atuar na fonte, na transmissão entre a fonte e o receptor ou atuar no próprio receptor. Para isso pode-se procurar reduzir as vibrações ainda durante a etapa de projeto, ou amortecendo as

vibrações antes que elas atinjam o receptor utilizando revestimentos com materiais antivibratórios (DUL; WEERDMEESTER, 2012).

Como afirma Gheller (2013), uma forma de minimizar os efeitos nocivos da vibração, é o emprego de isoladores de vibração utilizados em produtos de engenharia com a finalidade de reduzir a transmissão da energia vibratória transmitida de um corpo para o outro.

Contudo alguns materiais em determinadas frequências podem ampliar as doses de vibração a qual estão expostos os trabalhadores. Determinados fatores podem promover essa amplificação das vibrações, causando danos irreparáveis para o desempenho do sistema podendo, inclusive prejudicar o funcionamento de alguns equipamentos devido às vibrações (GHELLER, 2013).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Maquinas Agrícolas (LIMA), vinculado ao Departamento de Engenharia Agrícola (DENA) da Universidade Federal do Ceará (UFC) em Fortaleza, situado entre os paralelos de 3°44'45,72" e 3°44'48,67" de latitude sul da linha do equador e os meridianos de 38°34'51,05" e 38°34'53,52" a oeste de Greenwich, a 27 metros do nível do mar (Figura 5). O solo da área é classificado como Argissolo vermelho amarelo (EMBRAPA, 2006) de textura areia franca com 83% de areia, teores de argila e silte de 11 e 6% respectivamente.

Figura 5 - Área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas- LIMA



Fonte: O autor (2018).

#### 3.1 Umidade e resistência do solo

Os parâmetros de umidade e resistência à penetração foram determinados, por influenciarem na geração e comportamento das frequências vibratórias no momento da interação solo-máquina.

A determinação da umidade do solo foi realizada pelo método gravimétrico conforme EMBRAPA (1997). Foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0 -15 e de 15-30 cm, pesadas antes e depois de serem levadas a estufa por 24 horas a uma temperatura constante de 105-110°C.

Para a determinação da resistência mecânica do solo à penetração foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar - stolf, com 15 pontos de amostragem na área trabalhada também com leituras realizadas nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm. Os resultados foram transformados em unidade de pressão.

Os valores de umidade e resistência à penetração do solo da área em que foi realizado o experimento são apresentados na tabela 2:

Tabela 2- Umidade e resistência à penetração do solo

<b>Profundidade da amostragem (cm)</b>	<b>Umidade do solo (%)</b>	<b>Resistência à penetração (Mpa)</b>
0-15	7,25	0,89
15-30	6,87	1,41

Fonte: O autor (2018).

### 3.2 Microtrator e implemento utilizados

Foram utilizados um microtrator de duas rodas modelo TC14S (figura 2), da marca Yanmar Agritech, 2 x 2, potência de 10,3 kW a 2.400 rpm, massa total de 498 kg, equipado com pneus de medida 6,00 x 12,4 nas rodas motrizes com a pressão recomendada pelo fabricante de 14 psi (96,53 kPa), a diesel, 6 marchas a frente e 3 a ré e, enxada rotativa montada com facas do tipo L, com profundidade e largura de corte de 200 e 750 mm respectivamente, rendimento máximo de 2.600 m<sup>2</sup>/h, motor à caixa de transmissão: 3 correias em "V" B-58, embreagem multidisco a seco e tomada de força de 517 e 1.038 rpm (YANMAR AGRITECH, 2019).

Figura 6 - Microtrator modelo TC14S da marca Yanmar Agritech utilizado no experimento



Fonte: O autor (2018).

### 3.3 Luvas Antivibratórias

Foram avaliados dois modelos de luvas especificamente antivibratórias e um modelo alternativo utilizado em atividades que demandam proteção contra impacto com as especificações descritas na tabela 3.

As luvas foram adquiridas exclusivamente para a realização do trabalho em tamanho único (G), considerando as medidas do operador a fim de lhe proporcionar o máximo de conforto durante a realização dos testes em campo.

Tabela 3 - Modelos de luvas avaliadas no trabalho e especificações técnicas fornecidas pelo fabricante

<b>Luva 1 (L1)</b>	Luva de segurança tricotada em algodão, recoberta com gomos de cloro neoprene na palma e dedos (DANNY, 2018).	
<b>Luva 2 (L2)</b>	Luva de segurança confeccionada em fibras naturais e sintéticas, revestimento palmar, pontas e face palmar dos dedos em borracha foam (espuma) em formato de gomos (VOLK DO BRASIL, 2018).	
<b>Luva 3 (L3)</b>	Luva de segurança confeccionada em fibras sintéticas, 13 gauge, revestimento da face palmar e ponta dos dedos em látex corrugado; dorso com gomos em borracha termoplástica (TPR), punho com inserções de fibras elásticas e acabamento em fibras sintéticas (VOLK DO BRASIL, 2018).	

Fonte: Elaborada pelo autor (2017).

### 3.4 Procedimentos de medição, localização e fixação dos acelerômetros.

Para a coleta dos dados utilizados na avaliação da vibração emitida pelo conjunto microtrator/implemento e transmitida ao operador foi utilizado um acelerômetro modelo 356A02 propagação triaxial de uso geral, ICP<sup>®</sup> de cisalhamento cerâmico, 10 mV / g, 1 a 5k Hz, tamanho do cubo de 14 mm, conexão de 4 pinos, com sensibilidade de ( $\pm 10\%$ ) 10 mV / g (1,02 mV / (m / s<sup>2</sup>)) e faixa de medição:  $\pm 500$  g pk ( $\pm 4900$  m / s<sup>2</sup> pk), fixado na rabiça do microtrator do lado de maior habilidade do operador de acordo com as recomendações da NHO10 (figura 7).

Figura 7 - Localização do acelerômetro para coleta dos dados



Fonte: Autor (2018).

Para o registro e armazenamento das amostras coletadas foi utilizado um analisador de vibração HD2030 da Delta OHM (figura 8A), equipamento que satisfaz as especificações das normas ISO 8041:2005, ISO 5349-1: 2001 (vibrações nas mãos e braços), referências normativas da NHO10 utilizada na avaliação dos parâmetros indicativos de riscos ocupacionais neste trabalho. O equipamento é ainda adequado à avaliação da atenuação da vibração de luvas, assentos e materiais antivibratórios e verificação estrutural de edifícios de acordo com informações constantes no manual do produto (DELTA OHM, 2019).

Figura 8 - (A) Analisador de vibração HD 2030 da Delta OHM; (B) Acelerômetro triaxial PCB Piezotronics, 356A02



A

Fonte: Autor (2018).



B

O analisador de vibração foi calibrado para coletar dados a cada 1 segundo, esses dados são integrados em grupos de 10 formando uma amostra. Todas as coletas foram realizadas por 3 minutos contabilizando, portanto 18 amostras para cada unidade experimental. Para transferência dos dados do analisador de vibração e tratamento dos mesmos foi utilizado o software Noise Studio versão 9.09.

### 3.5 Características do operador

Ao longo de todo o ensaio apenas um operador utilizou o microtrator. O mesmo gozava de plena saúde física, apresentando massa corporal de 100 kg, 43 anos de idade, 178 cm de altura. A NHO10 não estabelece critérios quanto a antropometria do operador neste tipo de avaliação.

### 3.6 Parâmetros de vibração ocupacional avaliados de acordo com a NHO10

Parâmetros de exposição à vibração ocupacional avaliados no trabalho de acordo com a norma de higiene ocupacional 10 da FUNDACENTRO (2013):

**Aceleração média (*Root-mean-square single-axis acceleration value - aw*):** Valor Eficaz do movimento vibratório e que indica o potencial destrutivo da vibração na direção do eixo x, y e z em  $m.s^{-2}$ .

**Pico máximo (PMAXR):** Indica o valor mais alto da aceleração durante a medição resultante dos eixos x, y ou z.

**Aceleração resultante de exposição normalizada (aren):** corresponde à aceleração resultante de exposição (are) convertida para uma jornada diária padrão de 8 horas.

### 3.7 Avaliação da transmissibilidade

A norma ISO 2631:1997 se refere a vibração ocupacional de corpo inteiro, porém é nela que está descrito o método SEAT% que no presente trabalho foi adaptado a fim de avaliar a capacidade de isolamento da vibração de luvas antivibratórias. O método foi adaptado de acordo com Costa (2018) que o aplicou na avaliação da capacidade de isolamento de materiais empregados na confecção de almofadas para assentos de tratores, também se utilizou como referência Adam e Jalil (2017) que em seu trabalho utilizaram o parâmetro

r.m.s para o cálculo do SEAT%, em ambos os casos para avaliar a vibração ocupacional de corpo inteiro.

Originalmente o SEAT% é um método numérico utilizado para avaliar a eficiência da isolação em assentos, uma parte componente do projeto de máquinas. Neste trabalho, assim como no de Costa (2018) se propôs avaliar a capacidade de atenuação de um equipamento de proteção individual.

Um valor de SEAT% abaixo de 100% indica que o material atenua a vibração, acima disso ocorre a amplificação da mesma (ADAM e JALIL, 2017; COSTA, 2018). Para um valor SEAT% de 100% conclui-se que o material não proporciona redução do desconforto produzido pelo trator, no caso de valor SEAT% maior que 100%, o desconforto causado pela vibração é aumentado, já para SEAT% menor do que 100% a conclusão é que o material isolante atenuou parte da vibração que seria transmitida ao operador (SANTOS, 2002).

Para este trabalho a avaliação da eficiência de atenuação das luvas foi realizada de acordo com a equação 1:

$$AET(\%) = \frac{rms_{sl}}{rms_{sl}} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

AET(%)- Amplitude efetiva da transmissibilidade da luva.

$rms_{cl}$ - Aceleração média nos eixos X, Y ou Z com as luvas ( $m\ s^{-2}$ )

$rms_{sl}$  - Aceleração média nos eixos X, Y ou Z com as luvas ( $m\ s^{-2}$ )

### 3.8 Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema 4x2x2 sendo três modelos de luvas e um tratamento testemunha que consistiu das mesmas condições de operação, porém sem o uso do EPI, duas marchas (1ª e 2ª) e duas velocidades no rotor da enxada rotativa (265 e 520 rpm), para cada tratamento efetuou-se 5 repetições, totalizando 80 unidades experimentais (tabela 4).

Tabela 4- Tratamentos utilizados no experimento

<b>Luva</b>	<b>Marcha</b>	<b>Rotação</b>
SL	M1	R1
		R2
	M2	R1
		R2
L1	M1	R1
		R2
	M2	R1
		R2
L2	M1	R1
		R2
	M2	R1
		R2
L3	M1	R1
		R2
	M2	R1
		R2

Fonte: O autor (2019).

Coletados os dados, foi realizada uma análise descritiva, onde se verificou o coeficiente de simetria e curtose assumindo-os como indicadores de normalidades, sendo que para Oliveira (2010) valores entre -3 e 3 indicam normalidade em trabalhos nas áreas de agricultura.

Confirmada a normalidade os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias dos tratamentos foram comparadas a testemunha pelo teste de Dunnet a 5% de significância utilizando o programa Minitab versão 18.1.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de F para rms, Pico Máximo e aren (aceleração resultante da exposição normalizada) são apresentados na tabela 5.

Tabela 5- Teste F para rms, Pico máximo e aren

F	Eixos		
	X	Y	Z
<b>rms</b>			
M1R1	1.24 <sup>ns</sup>	5.6 <sup>*</sup>	14.57 <sup>*</sup>
M1R2	0.81 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>ns</sup>	5.14 <sup>*</sup>
M2R1	0.20 <sup>ns</sup>	0.12 <sup>ns</sup>	1.96 <sup>ns</sup>
M2R2	1.01 <sup>ns</sup>	1.75 <sup>ns</sup>	3.70 <sup>**</sup>
CV(%)	36.16	15.24	17.96
<b>Pico Máximo</b>			
M1R1	0.52 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	0.62 <sup>ns</sup>
M1R2	0.63 <sup>ns</sup>	0.10 <sup>ns</sup>	0.70 <sup>ns</sup>
M2R1	0.04 <sup>ns</sup>	0.00 <sup>ns</sup>	0.22 <sup>ns</sup>
M2R2	0.19 <sup>ns</sup>	0.31 <sup>ns</sup>	0.66 <sup>ns</sup>
CV(%)	64.2	32.1	50.34
<b>aren</b>			
M1R1		26.18 <sup>*</sup>	
M1R2		5.86 <sup>*</sup>	
M2R1		31.55 <sup>*</sup>	
M2R2		2.98 <sup>**</sup>	
CV(%)		12.78	

Legenda: \* (p<0,05); \*\* (p<0,01); <sup>NS</sup> (não significativo).

Não houve diferença significativa em nenhum dos tratamentos e eixos para o parâmetro Pico Máximo, pode-se concluir que as combinações de marcha e rotação e o tipo de luva não interferem significativamente nestes valores provavelmente por estarem diretamente relacionados às condições de heterogeneidade da área em que o experimento foi realizado. No trabalho de Costa (2018) os valores de pico aumentaram em função do aumento dos choques mecânicos, causados pelo aumento da velocidade e a influencia da desuniformidade da área.

Os valores do coeficiente de variação apresentam-se elevados, embora se tenha constatado a normalidade dos dados. Isto ocorre por que dentro de cada CV analisado há diferentes variáveis (combinações de marcha e rotação) que aumentam a variabilidade dos

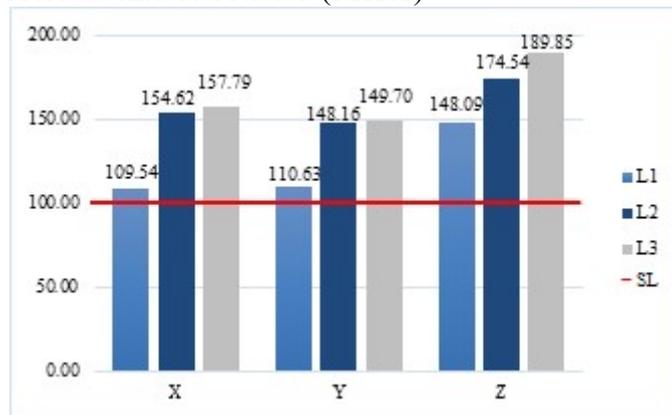
dados coletados. Silveira (2018) em ensaios de desempenho energético atribui o CV de 40,83% na variável patinamento, mesmo apresentando normalidade, às variáveis velocidade e tipo de pneu analisados, que proporcionaram valores de patinamento responsáveis pela heterogeneidade dos dados.

#### 4.1 AET%- Amplitude efetiva da transmissibilidade da luva.

Utilizando a adaptação do método SEAT% proposta neste trabalho e assumindo os valores do tratamento sem luva como controle, ou seja, iguais a 100% na análise, a variação para baixo desse valor significa que o material atenuou naquela condição a vibração incidente e, quando variando para cima, valores de AET% superiores a 100%, denota que houve elevação no nível de vibração transmitida.

Para a marcha 1 na velocidade 1 no rotor da enxada rotativa (265 rpm) (M1R1), a vibração transmitida ao sistema mãos e braços do operador foi amplificada em 9,54 ; 54, 62 e 57,79% no eixo X, em 10,63; 48,16 e 49,70 no eixo Y e em 48,09; 74,54 e 89,85% no Z nos tratamentos com Luva 1, Luva 2 e Luva 3 respectivamente (Figura 9).

Figura 9- Valores médios de transmissibilidade (%) nos eixos X, Y e Z na marcha 1 e na rotação 1 no rotor da enxada rotativa (M1R1)



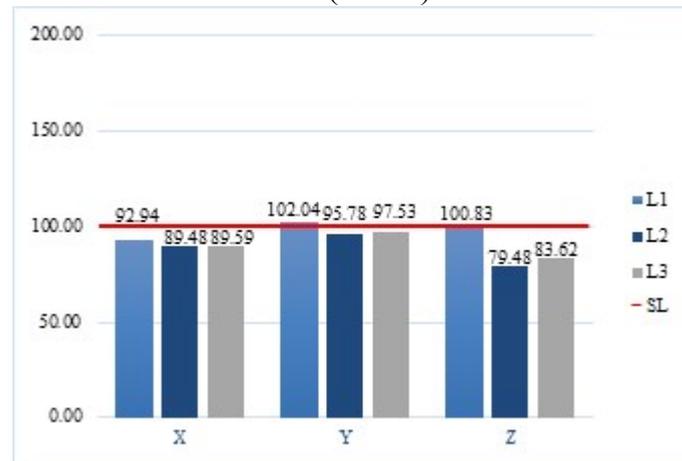
L1- Luva 1; L2- Luva 2; L3- Luva 3; SL-Sem Luva.

As combinações de marcha e rotação podem ter proporcionado frequências capazes de influenciar nos valores de transmissibilidade das luvas que embora desenvolvidas para isolar ou reduzir as vibrações transmitidas, em algumas condições elas podem amplificá-las, Hamouda *et al.* (2017), avaliando a transmissibilidade de quatro modelos de luvas verificaram que na palma da mão ocorreu a amplificação da vibração na faixa de frequência

de 10 e 40 Hz, nos dedos com a utilização de luvas de ar a vibração foi amplificada na faixa de frequência 125 e 200 Hz e, para frequências acima de 200 Hz a utilização de luvas de gel, híbridas e de couro também amplificaram a vibração transmitida.

Para a operação realizada na primeira marcha utilizando no rotor da enxada a velocidade de rotação de 560 rpm (M1R2), verifica-se, com excessão da luva 1 nos eixos Y e Z que houve atenuação (Figura 10). Destacaram-se nesta análise as luvas 2 e 3, sendo que a luva 2 atenuou 10,52% no eixo X e 20,52% no eixo Z, neste tratamento a luva 3 apresentou nos eixos X e Z valores de atenuação de respectivamente 10,41 e 16,38%. Esses valores são importantes ao considerar que em atividades do setor agrícola as maiores frequências de vibração ocorrem no eixo Z devido a desuniformidade das áreas de trabalho. Doimo (2016) também obteve elevados valores de vibração no sentido do eixo X e Z, já no eixo Y, o valor encontrado foi menor em alguns dos tratores avaliados em seu trabalho.

Figura 10- Valores médios de transmissibilidade (%) nos eixos X, Y e Z na marcha 1 e na rotação 2 no rotor da enxada rotativa (M1R2)



L1- Luva 1; L2- Luva 2; L3- Luva 3; SL-Sem Luva.

Verificou-se também neste caso que com a velocidade de rotação mais elevada no rotor da enxada rotativa se obteve valores de AET% mais próximos do valor do tratamento controle, o que se confirma na tendência dos resultados seguintes, sinalizando que a combinação adequada de marcha e rotação podem configurar medidas de combate aos danos causados pela vibração durante as operações com microtratores. É provável que o aumento da velocidade no rotor da enxada tenha contribuído para a dispersão das frequências vibratórias pelo corpo do microtrator, fonte de vibração, reduzindo a concentração na zona de exposição e conseqüentemente a vibração transmitida.

Considerando que embora mais baixos, comparados ao tratamento M1R1, os valores dos tratamentos em segunda marcha em sua maioria apontam amplificação da vibração, sendo importante a verificação em trabalhos futuros destes parâmetros utilizando outras combinações de marcha e rotação.

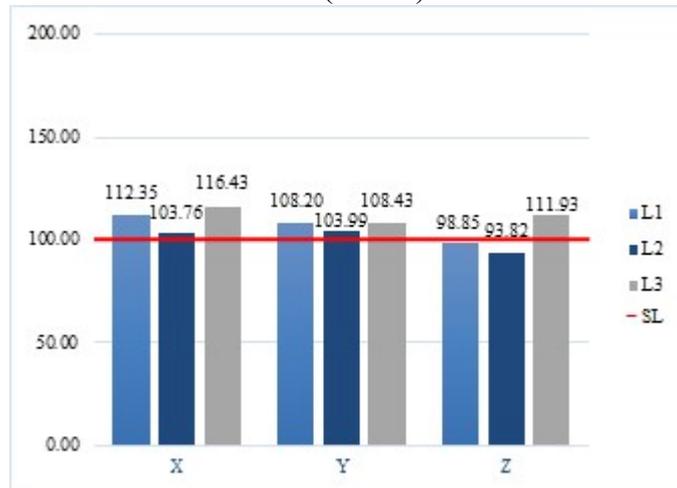
Vale destacar que a luva 3 corresponde ao modelo alternativo desenvolvido para a proteção das mãos em atividades que apresentam risco de impacto no dorso e necessitem de proteção a cortes. Dong *et al.* (2014) afirmam que, em alguns casos, luvas convencionais podem ser mais eficazes que as luvas antivibratórias na redução de vibrações transmitidas. O modelo L3 apresenta os gomos no dorço e não na palma da mão como no caso das luvas especificamente antivibratórias deixando os movimentos da mão mais livre com relação a zona de exposição, sem comprometimento da flexibilidade e destreza, características apontadas como comprometidas pelos usuários de luvas antivibratórias no trabalho de Messias (2014). O fato de as luvas antivibratórias muitas vezes prejudicarem o desempenho e produtividade, torna inclusive os operadores menos receptivos à sua utilização (LARIVIÈRE *et al.*, 2004).

Considerando que fatores envolvidos na atividade podem interferir na eficiência de isolamento de certos materiais antivibratórios, Welcome *et al.* (2018) afirmam que a seleção das luvas não precisa ser feita entre as luvas antivibratórias certificadas, nos casos de ferramentas de vibração de baixa frequência (<25 Hz), por exemplo, é improvável que o uso de luvas antivibração certificadas seja benéfico.

Nas operações em segunda marcha não houve uma diferença acentuada nos valores de AET(%) em função da velocidade no rotor da enxada rotativa. Apenas para o eixo Z da luva 2 na operação em segunda marcha e na velocidade de rotação 1 (M2R1) houve atenuação de 6,18% e um valor de atenuação pouco representativo de 1,15% da Luva 1 no mesmo eixo (tabela 11).

Os valores dos outros tratamentos identificaram amplificação da vibração contudo se mantiveram próximos do valor do tratamento controle.

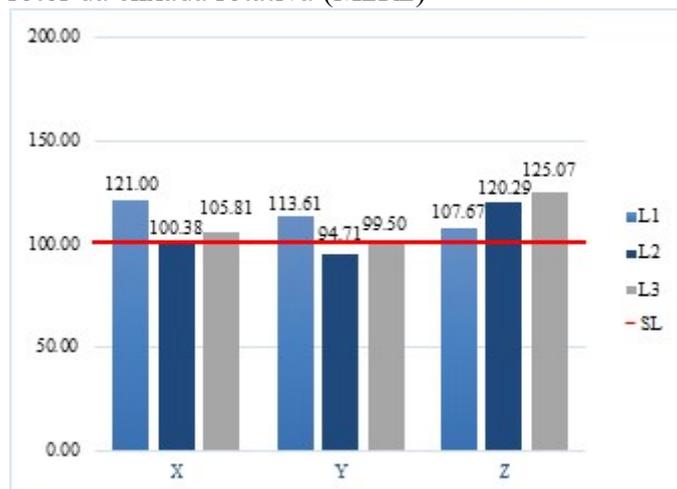
Figura 11- Valores médios de transmissibilidade (%) nos eixos X, Y e Z na marcha 2 e na rotação 1 no rotor da enxada rotativa (M2R1)



L1- Luva 1; L2- Luva 2; L3- Luva 3; SL-Sem Luva.

Do mesmo modo para a operação em segunda marcha operando na rotação de 560 rpm no rotor da enxada rotativa (M2R2) verifica-se que apenas para a luva 2 no eixo Y houve pequena redução da transmissibilidade de 5,29%. Os demais valores também se aproximaram do valor de referência ou o superaram significando a amplificação da vibração (tabela 12).

Figura 12- Valores médios de transmissibilidade (%) nos eixos X, Y e Z na marcha 2 e na rotação 2 no rotor da enxada rotativa (M2R2)



L1- Luva 1; L2- Luva 2; L3- Luva 3; SL-Sem Luva.

Os valores de AET% dos eixos X, Y e Z para a maioria dos modelos de luva flutuaram em torno do valor de referência denotando que nestas condições de campo,

velocidade de operação (marcha 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup>) e velocidade de rotação na enxada rotativa (256 e 560 rpm), as luvas não atenuam e em grande parte amplificam as vibrações. Dong *et al.* (2017) afirmam que em muitas ferramentas de baixa frequência, ou aquelas que vibram ao longo do eixo da manípula, luvas antivibração não são capazes de reduzir as vibrações transmitidas.

Analisando os valores obtidos em todos os tratamentos, conclui-se que as maiores velocidade apresentaram tendência a menores níveis de vibração transmitidas ao SMB do operador de acordo com a metodologia aplicada no presente trabalho. Com destaque para o tratamento Marcha 1 na Rotação 2 (M1R2) em que verificou-se redução da vibração para a maioria das luvas com excessão dos eixos Y e Z da luva 1.

#### 4.2 Aceleração média (rms) nos eixos X, Y e Z

Na tabela 6 são apresentados os valores de aceleração média nos eixos ortogonais X, Y e Z para Vibração de Mãos e Braços (VMB).

Tabela 6 - Valores de aceleração média nos eixos X, Y e Z

	<b>Aceleração média no eixo X (m.s<sup>2</sup>)</b>	<b>Aceleração média no eixo Y (m.s<sup>2</sup>)</b>	<b>Aceleração média no eixo Z (m.s<sup>2</sup>)</b>
<b>Marcha 1- Rotação 1 (M1R1)</b>			
<b>SL</b>	1.295 a	1.392 a	2.560 a
<b>L1</b>	1.415 a	1.535 a	4.327 b
<b>L2</b>	2.108 a	1.846 b	4.562 b
<b>L3</b>	1.656 a	1.892 b	4.992 b
<b>Marcha 1- Rotação 2 (M1R2)</b>			
<b>SL</b>	2.130 a	1.730 a	3.692 a
<b>L1</b>	1.564 a	1.728 a	3.620 a
<b>L2</b>	1.535 a	1.634 a	2.906 b
<b>L3</b>	1.536 a	1.652 a	3.022 b
<b>Marcha 2- Rotação 1 (M2R1)</b>			
<b>SL</b>	1.228 a	1.390 a	3.658 a
<b>L1</b>	1.340 a	1.486 a	3.548 a
<b>L2</b>	1.290 a	1.480 a	3.398 a
<b>L3</b>	1.378 a	1.480 a	4.024 a
<b>Marcha 2- Rotação 2 (M2R2)</b>			
<b>SL</b>	1.230 a	1.400 a	3.368 a
<b>L1</b>	1.392 a	1.546 a	3.602 a
<b>L2</b>	1.168 a	1.300 a	4.018 a
<b>L3</b>	1.244 a	1.364 a	4.168 b

SL-Sem Luva; L1- Luva 1; L2- Luva 2; L3- Luva 3

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância.

Analisando a tabela verifica-se que para o eixo X, nas condições em que o experimento foi realizado, não houve diferença significativa na aceleração média em nenhum dos tratamentos.

Na marcha 1 e na velocidade 1 no rotor da enxada apenas as luvas L2 e L3 no eixo Y diferiram significativamente com a amplificação da vibração.

No eixo Z os valores médios de aceleração foram os que mais diferiram estatisticamente das médias do tratamento controle pelo teste de Dunnett. Neste eixo todos os modelos de luvas na marcha 1 e na rotação 1 (265 rpm), tratamento M1R1, diferiram do tratamento sem luva amplificando a vibração. No trabalho de Forastiere *et al.* (2016), os níveis de vibração vertical na base do posto de operação foram mais pronunciados em função do incremento da força de tração e da variável rotação do eixo motriz. De acordo com Ribas (2012) a desuniformidade da área explica os maiores valores no eixo Z, sendo este também, de acordo com o autor o mais difícil de atenuar em atividades agrícolas geralmente realizadas em terreno desuniforme.

Ainda considerando o eixo Z, na operação realizada na primeira marcha utilizando a rotação mais elevada, 560 rpm no rotor da enxada (M1R2), houve diferença significativa sendo que neste caso as médias representam atenuação da vibração para os modelos L2 e L3, este último correspondente ao modelo de luva alternativo anti-impacto.

Na marcha 2 com rotação de 265 rpm no rotor da enxada (M2R1) apenas para o modelo L3 a ampliação da vibração no eixo Z deu diferença significativa.

Costa (2018) afirma que a qualidade como atenuante do material empregado em um produto com esse fim é reduzida à medida que não apresentam atenuação significativa no eixo Z. Em função disto, Santos Filho *et al.* (2003) caracterizaram a aceleração r.m.s vertical como a mais significativa em estudos sobre a vibração em tratores, em diferentes terrenos e condições operacionais.

### **4.3 Pico máximo nos eixos X, Y e Z (P<sub>MAXj</sub>)**

Na tabela 7 são apresentados os valores médios de pico máximo de aceleração nos eixos X, Y e Z. As médias de pico máximo são elevadas, porém não diferiram em nenhum dos tratamentos.

Ribas *et al.* (2014) avaliando a vibração transmitida em função da pressão de insuflagem dos pneus encontraram valores de Pico Máximo elevados nos três eixos (na direção vertical, longitudinal e transversal), com os valores entre 14,85 m s<sup>-2</sup> e 21,64 m s<sup>-2</sup>.

Neste trabalho os valores de pico máximo foram elevados provavelmente devido às condições heterogêneas, aos torrões de textura fortemente agregada presentes na área em que foi realizado e ainda ao projeto da máquina, pois sendo o microtrator mais leve, porém de considerável potência ele sofre grande influência dos choques mecânicos entre os rodados e os torrões, sobretudo no sentido vertical, eixo Z, que mesmo não diferindo significativamente apresentaram valores maiores comparados aos eixos X e Y como se pode verificar na tabela 7. Os choques aparecem quase sempre em conjunto com as vibrações e são causados por ondas de intensidades maiores que o nível médio dessas vibrações (DUL; WEERDMEEESTER, 2012). Os maiores valores de vibração são observados no eixo Z, sobretudo em função da desuniformidade da área que promove os choques mecânicos entre a máquina e a superfície (TIWARI; GITE, 2006).

Tabela 7- Valores médios de pico máximo de aceleração nos eixos X, Y e Z

	<b>PMAX no eixo X</b> (m s <sup>-2</sup> )	<b>PMAX no eixo Y</b> (m s <sup>-2</sup> )	<b>PMAX no eixo Z</b> (m s <sup>-2</sup> )
<b>Marcha 1- Rotação 1(M1R1)</b>			
<b>SL</b>	15.87 a	16.57 a	34.15 a
<b>L1</b>	16.03 a	16.75 a	31.98 a
<b>L2</b>	27.6 a	18.36 a	44.50 a
<b>L3</b>	18.72 a	19.30 a	44.30 a
<b>Marcha 1- Rotação 2 (M1R2)</b>			
<b>SL</b>	33.30 a	22.92 a	51.00 a
<b>L1</b>	20.52 a	21.38 a	47.76 a
<b>L2</b>	23.72 a	23.18 a	40.62 a
<b>L3</b>	20.18 a	20.68 a	33.46 a
<b>Marcha 2- Rotação 1(M2R1)</b>			
<b>SL</b>	16.12 a	16.84 a	32.92 a
<b>L1</b>	16.05 a	16.95 a	26.87 a
<b>L2</b>	16.76 a	17.02 a	29.73 a
<b>L3</b>	17.16 a	17.12 a	25.97 a
<b>Marcha 2- Rotação 2 (M2R2)</b>			
<b>SL</b>	16.06 a	17.36 a	35.30 a
<b>L1</b>	14.76 a	15.26 a	30.26 a
<b>L2</b>	16.42 a	16.76 a	23.76 a
<b>L3</b>	15.02 a	15.48 a	40.28 a

SL-Sem Luva; L1- Luva 1; L2- Luva 2; L3- Luva 3

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância.

#### 4.4 Aceleração resultante de exposição normalizada – aren

Analisando a tabela 8 verifica-se que todos os tratamentos apresentaram níveis acima do recomendado para a realização da operação em 8 horas diárias de trabalho tanto para as operações realizadas sem luva quanto nas operações realizadas utilizando-se os três modelos de luvas avaliados. De acordo com a Norma de Higiene Ocupacional 10 valores de aren a partir de  $5 \text{ m s}^{-2}$  encontram-se acima do limite de exposição e a recomendação neste caso é a adoção imediata de medidas corretivas (FUNDACENTRO, 2013). Para Dul e Weerdmeester (2012) tais medidas podem se constituir de mudanças no projeto das máquinas, a manutenção regular, pois peças frouxas ou desajustadas são fontes de vibração e ruído, ou ainda a redução do tempo de exposição às vibrações alternando tarefas. Segundo Goglia *et al.* (2003) uma medida de minimizar os riscos a saúde do operador é reduzir o tempo de exposição realocando-o em outras funções que não o exponha à vibração.

Tabela 8- Valores médios de aceleração resultante da exposição normalizada

	SL	L1	L2	L3
<b>M1R1</b>	5.22 a	6.97 b	8.08 b	8.68 b
<b>M1R2</b>	7.10 a	6.88 a	6.26 b	6.34 b
<b>M2R1</b>	6.44 a	6.34 a	5.30 b	7.10 b
<b>M2R2</b>	6.14 a	6.70 a	6.64 a	6.90 b

SL-Sem Luva; L1- Luva 1; L2- Luva 2; L3- Luva 3

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de significância.

Certos materiais, mesmos os desenvolvidos para a atenuação da vibração, podem, em determinadas condições, elevar as doses que incidem sobre os operadores. Desta forma analisando os resultados do presente trabalho quanto à aceleração resultante de exposição normalizada (aren), verifica-se que houve diferença significativa entre o tratamento controle e as luvas sendo que na marcha 1 e na rotação 1 (M1R1), ocorre elevação nos valores de aren. No trabalho de Hamouda *et al.* (2018), os autores verificaram que as luvas são adequadas para reduzir a exposição à vibração dos dedos, especialmente para as ferramentas elétricas portáteis com vibração dominante nas faixas de frequência de 30 e 160 Hz e 10 e 200 Hz nos dedos indicador e médio, respectivamente. Porém, no mesmo trabalho, algumas luvas amplificaram a vibração dos dedos em frequências superiores a 160 Hz para o dedo indicador e superiores a 200 Hz para o dedo médio.

No tratamento marcha 1 e rotação 2 (M1R2) embora acima do recomendado pela NHO 10, ocorre uma redução de aren para os modelos L2 e L3, já na marcha 2 e na rotação 1 (M2R1) também ocorre diferença nos valores obtidos com as luvas 2 e 3, sendo redução na luva 2 e amplificação na luva 3.

Para o tratamento marcha 2 e velocidade de rotação 2 (M2R2), a luva 3 é a que apresenta maior valor de aren diferenciando-se dos outros modelos amplificando a aceleração. A mudança no comportamento da luva três que em marcha e rotação mais baixas apresentou menores valores de aren e em marcha e rotação mais altas amplificou a vibração evidencia que a velocidade é um fator que pode comprometer a capacidade de isolamento dos materiais atenuantes. Para Santos (2016) os valores de aren são maiores à medida que ocorre o aumento da velocidade. Costa (2018) concluiu que apesar dos materiais se mostrarem como bons atenuantes, com a elevação da velocidade todos os tratamentos avaliados em seu trabalho apresentaram valores da dose de vibração resultante (VDVR) e aren acima do limite de exposição determinando pela norma de higiene ocupacional, caracterizando como insalubre a operação mesmo com a utilização dos materiais atenuantes.

As luvas podem apresentar desvantagens como a redução da destreza e a sensibilidade manual, podem alterar as dimensões da mão de tal forma que possam interferir na habilidade de manuseio de uma pessoa (CABEÇAS & MILHO, 2011). Tais dificuldades são percebidas com maior intensidade nas operações com microtratores em que o operador ao manobrar a máquina para que esta permaneça alinhada na direção do preparo do solo, altera constantemente a intensidade do contato das mãos com a fonte de vibração, a rabiça. Percebeu-se durante a realização do trabalho que realmente houve perda de rendimento e destreza e que a necessidade constante de alinhamento, comprometeu a firmeza do contato das luvas com a rabiça e conseqüentemente sua eficiência em reduzir a vibração transmitida.

## 5 CONCLUSÃO

Considerando o AET% calculado em função da operação sem luva, os modelos L3, anti-impacto e L2, modelo antivibratório, apresentaram melhor desempenho na operação em primeira marcha e rotação de 560 rpm no implemento. Contudo a metodologia AET% utilizada para avaliar a eficiência isolante das luvas por si só não basta, visto que para o parâmetro aren todas as luvas transmitiram valores acima do aceitável de acordo com a NHO 10.

As combinações de marcha e rotação do implemento interferiram nos níveis de vibração, portanto podem ser consideradas nas medidas de mitigação dos níveis de vibração a que estão expostos os operadores de microtrator.

## REFERÊNCIAS

- ALBIERO D.; CAJADO D. M.; FERNANDES, I. L. C.; MONTEIRO, L. A.; ESMERALDO, G. G. S. L. **Tecnologias agroecológicas para o semiárido**. Fortaleza: edição do Autor, 2015.
- ARAÚJO, H. J. B.; CORREIA, M. F.; CARDOSO, G. A.; FONSECA, F. L. **Utilização de microtrator na colheita madeireira em sistema de manejo florestal de pequena escala**. Embrapa Acre-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2011.
- ARAÚJO, K. L. B. **Desempenho operacional e energético de um microtrator em função da lastragem, velocidade de deslocamento e pressão de inflação dos pneus**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal do Ceará- UFC, Fortaleza, 2013.
- BALBINOT A. **Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: Um enfoque no conforto e na saúde**. 2001. 311 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - UFRGS, Porto Alegre, 2001.
- BASTOS, R. C.; BIFANO, A. C. S. “Estado da arte” sobre as publicações científicas envolvendo o trabalho agrícola familiar no Brasil sob o ponto de vista ergonômico. **Engenharia na Agricultura/Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 1, p. 27-37, 2017.
- BRASIL, Norma Regulamentadora 06. **Equipamento de proteção Individual**. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR6.pdf>. Acesso em 04 out. 2017.
- BRASIL. Norma Regulamentadora 15. **Atividade e operações insalubres**. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR15/NR15-ANEXO15.pdf>. Acesso em 04 out. 2017
- BRASIL. NR 6- Equipamento de proteção individual – EPI. Disponível em: <http://www.trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR6.pdf>. Acesso em 17 jan. 2018.
- COSTA, E. **Almofadas de assento para atenuação da vibração ocupacional em tratores agrícolas**. 2018.137 f. Tese. (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Ceará- UFC-Fortaleza, 2018.
- CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, M. A. V.; RODRIGUES, J. C. Avaliação dos níveis de vibração e ruído emitidos por um trator agrícola em preparo de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 4, 2009.
- CUNHA, J.P.A.R.; DUARTE, M.A.V.; SOUZA C.M.A. Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas. **Revista IDESIA** (Chile) v. 30, Nº 1, Enero-Abril, 2012.
- DEWANGAN, K. N.; TEWARI, V. K. Vibration energy absorption in the hand–arm system of hand tractor operator. **Biosystems engineering**. v. 103 (2009) 445–454.
- DOIMO, L. S. **Avaliação da vibração ocupacional no posto operacional de tratores agrícolas estáticos utilizando-se duas rotações angulares**. 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista- UNESP- Botucatu. 2016.

DONG, R. G.; McDOWEL, T. W.; WELCOME, D. E.; WARREN, C.; WU, J. Z.; RAKHEJA, S. Analysis of anti-vibration gloves mechanism and evaluation methods. **Journal of Sound and Vibration**, v. 321, n. 1-2, p. 435-453, 2009.

DUL, J.; WEEDMEESTER, B. Ergonomia prática. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2012.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FEITOSA, J. R.; FERNANDES, H.C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R. Influência da pressão interna dos pneus e velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.1, p.117-127, 2015.

FERNANDES, H. C.; SANTOS FILHO, P. F.; QUIRÓS, D. M.; CAMILO, A. J.; REIS, E. F. Vibração em tratores agrícolas: caracterização das faixas de frequência no assento do operador. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.11, n.1-4, Jan./Dez., 2003

FORASTIERE, P. R.; FERNANDES, H; C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; Caracterização das vibrações mecânicas no e ruído no posto de operação no trator agrícola modificado “Transformax”. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, v. 24, n. 4, p. 291-301, 2016.

FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional (NHO-10): avaliação da exposição ocupacional a vibrações de mãos e braços: procedimento técnico**. São Paulo: Fundacentro, 2013.

GANNON, L. Single impact testing of suspension seats for high-speed craft. **Ocean Engineering**, v.141, p. 116–124, 2017.

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

GOGLIA, V.; GOSPODARIC, Z.; KOSUTIC, S.; FILIOVIC, D. Hand-transmitted vibration from the steering wheel to drivers of a small four-wheel drive tractor. **Revista Applied Ergonomics**. v. 34, p. 45–49, 2003.

HAMOUDA, K.; RAKHEJA S.; MARCOTTE P.; DEWANGAN K.N. Fingers vibration transmission performance of vibration reducing gloves. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 62, p. 55-69, 2017.

HAMOUDA, K.; RAKHEJA, S.; DEWANGAN, K. N.; MARCOTTE, P. Fingers' vibration transmission and grip strength preservation performance of vibration reducing gloves. **Applied ergonomics**, v. 66, p. 121-138, 2018.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2 ed. São Paulo: Blucher Ltda., 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 2631 **Mechanical vibration and shock - evaluation of human exposure of whole- body vibration: general requirements**. Genebra, 1997.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 5349-1. **Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements**. Genebra, 2001.

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

LACERDA, E. G.; FERNANDES, H. C.; SIMON, C. P.; PETERLE, G.; SANTOS, L. N. **Avaliação da demanda energética e custos de produção de um trator de rabiças em função das velocidades de deslocamento no preparo do solo**. XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola –CONBEA,2014.

MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MACHADO, R. L. T. **Tratores para a agricultura familiar: guia de referência**. Pelotas. Ed. Universitária UFPEL, 2010. 126 p.

MANSFIELD, N. J. **Human response to vibration**. London: CRC Press, 2005. 227 p.

MESSIAS R. P. R. **A eficácia das luvas anti-vibratórias no amortecimento das vibrações transmitidas ao punho**. 2014. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industria). Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2014.

MILHO R. M. B. J. **O esforço, o conforto e a vibração no sistema mão-braço, associados à utilização de luvas anti-vibratórias**. 2009. 186 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) Universidade Nova de Lisboa- Lisboa, 2009.

MONTEIRO L. A. **Prevenção de acidentes com tratores agrícolas e florestais**. 1ª ed. Botucatu: Diagrama, 2010. 105 p.

MONTEIRO L. A.; ALBIERO D. **Segurança na Operação com máquinas Agrícolas**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2013.122 p.

MONTEIRO, M. A. M. Importância da ergonomia na saúde dos funcionários de unidades de alimentação e nutrição. **Revista Baiana de Saúde Pública**, v. 33, n. 3, p. 416, 2012.

MORAES, G. A. G. **Avaliação dos níveis de vibração no operador de um trator agrícola ensaiado em pista normatizada em diferentes velocidades de deslocamento**. 2015. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista- UNESP, Botucatu, 2015.

NASCIMENTO, E. M. S. **Avaliação da eficiência energética e do nível de ruído de microtrator de duas rodas**. 2012. 69 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Ceará- UFC-Fortaleza, 2012.

NESI, M. **Identificação dos riscos associados ao corte semimecanizado de eucalipto e pinus na exploração florestal**. 2011. 57 f. Monografia (especialização em Engenharia de

Segurança do Trabalho) Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, 2011.

OLIVEIRA, J. U. C. **Estatística: uma nova abordagem**. Rio de Janeiro. Editora Ciência, 2010.

PELOIA, P. R.; MILAN, M. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 681-691, 2010.

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. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.10, p.1797-1803, out, 2014.

REGIS FILHO, G. I.; ZMIJEVSKI, T. R. L.; PIETROBON, L.; FADEL, M. A. V.; KLUG F. K. Exposição ocupacional do cirurgião-dentista à vibração mecânica transmitida através das mãos: um estudo de caso. **Produção**, v. 20, n. 3, jul./set. 2010, p. 502-509

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, 2012.

RIBAS, R. L.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; FARIAS, M. S.; 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.

SANDI, J. **Vibração incidente sobre o corpo inteiro do operador de trator agrícola ensaiado em pista de vibração com diferentes lastros, velocidades e pressões de inflação dos pneus**. 2015. 101 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2015.

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**, v. 27, n. 6, p. 887-895, 2003.

SANTOS FILHO, P. F.; FERNANDES, H. C.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, A. P.; CAMILO, A. J. Utilização de um sistema de aquisição automática de dados para avaliação dos níveis de ruído de um trator agrícola de pneus. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n. 3, p. 381-386, 2004.

SANTOS, DIEGO, W. F. N. Caracterização das vibrações mecânicas no e ruído no posto de operação no trator agrícola modificado “transformax”. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 24, n. 4, p. 291-301, 2016.

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. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 2, p. 112-118, 2014.

SANTOS, P. F. **Avaliação dos níveis de ruído e vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automática de dados**. 2002. 53 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

SANTOS, V. C.; MONTEIRO, L. A.; MACEDO, D. X. S.; MELO, R. P.; QUEIROZ, M. L.V. Avaliação da exposição do operador à vibração na operação de gradagem. **Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 31, n.4, p.312-316 outubro-dezembro, 2016.

SERVADIO, P.; MARSILI, A.; BELFORE, N. P. Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors. **Biosystems Engineering**, v. 97 n. 2, p. 171-180, 2007.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Manutenção de tratores agrícolas**. São Paulo. 2010. 76 p.

SILVA, J. G.; TAVARES, L. Segurança alimentar e a alta dos preços dos alimentos: oportunidades e desafios. **Segurança alimentar e nutricional**, v. 15, n. 1, p. 62-75, 2008.

SILVEIRA, G. M. **Preparo do solo: técnicas e implementos**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 290 p.

SILVEIRA, J. C. M.; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J.; SILVA, S. L. TROGELLO, E. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, 2013.

SILVEIRA, W. M. **Eficiência energética de um trator agrícola 4x2 TDA em pista de concreto em função do desgaste dos pneus e da velocidade de deslocamento**. 2018. 73 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Ceará- UFC- Fortaleza, 2012.

SOUZA, L. H.; FERNANDES, H. C.; VITÓRIA, E. L. Avaliação do nível de ruído causado por diferentes conjuntos mecanizados. **Revista brasileira Saúde ocupacional**. São Paulo, v. 28,n. 105-106, p. 21, 2003.

TEIXEIRA, M. L. P.; FREITAS, R. M. V. Acidentes do trabalho rural no interior paulista. **São Paulo em perspectiva**, v. 17, n. 2, p. 81-90, 2003.

TIWARI, P. S.; GITE, L. P. Evaluation of work-rest schedules during operation of a rotary power tiller, **International Journal of Industrial Ergonomics**, 36(3), 203–10, 2006.

TURCOT, A.; LEHOUX, M. As luvas antivibráteis: uma via de prevenção eficaz e aplicável? **Laboreal**, v. 12, n. 1, p. 63-76, 2016.

VASCONCELOS, K. S. L.; SILVA, T. J. J.; MELO, S. R. S. Mecanização da agricultura: demanda por tratores de rodas e máquinas agrícolas nos estados da região Nordeste. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.6, n.2, p. 207-222, maio-ago. 2013.

VENDRAME, A. **Vibrações ocupacionais**. Disponível em: [http://www.vendrame.com.br/novo/artigos/vibracoes\\_ocupacionais.pdf](http://www.vendrame.com.br/novo/artigos/vibracoes_ocupacionais.pdf). Acesso em 08 ago. 2017.

XIMENES, G. M.; MAINIER, F. B. **Medidas e Medições de Engenharia para Controle de Vibrações na Fonte.** VII Semana de Engenharia da UFF; IV Seminário Fluminense de Engenharia. Niterói, RJ, Brasil, 8-10 de novembro de 2005.