



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

MAYARA RODRIGUES UCHÔA

**INFLUÊNCIA DO DESGASTE DAS GARRAS E PRESSÃO DE INFLAÇÃO DE
PNEUS NA VIBRAÇÃO TRANSMITIDA AO OPERADOR DE TRATOR AGRÍCOLA**

FORTALEZA

2021

MAYARA RODRIGUES UCHÔA

INFLUÊNCIA DO DESGASTE DAS GARRAS E PRESSÃO DE INFLAÇÃO DE PNEUS
NA VIBRAÇÃO TRANSMITIDA AO OPERADOR DE TRATOR AGRÍCOLA

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

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.

Coorientadora: Profa. Dra. Viviane Castro dos Santos.

FORTALEZA

2021

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)

- U19i Uchôa, Mayara Rodrigues.
Influência do desgaste das garras e pressão de inflação de pneus na vibração transmitida ao operador de trator agrícola. / Mayara Rodrigues Uchôa. – 2021.
102 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro.
Coorientação: Profa. Dra. Viviane Castro dos Santos.
1. Ergonomia. 2. Riscos ocupacionais. 3. Velocidade de deslocamento. I. Título.

CDD 664

MAYARA RODRIGUES UCHÔA

INFLUÊNCIA DO DESGASTE DAS GARRAS E PRESSÃO DE INFLAÇÃO DE PNEUS
NA VIBRAÇÃO TRANSMITIDA AO OPERADOR DE TRATOR AGRÍCOLA

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

Aprovada em: / / .

BANCA EXAMINADORA

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

Profa. Dra. Viviane castro dos Santos
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Max César de Araújo
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab)

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

AGRADECIMENTOS

Á Deus, por me guiar e me amparar nos momentos difíceis.

Á minha mãe, Joselia Rodrigues Lopes, e ao meu pai, Moizaniel Braga Uchôa, por me apoiarem sempre que precisei e por todos os esforços em prol da minha educação.

Ao meu noivo João Paulo Cunha, pelo suporte, amor incondicional, companheirismo e por ser minha inspiração cotidiana, se tornando parte fundamental dessa conquista. Te amo.

Á Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pela realização desse sonho e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento científico e Tecnológico (CNPq) pelo fomento da bolsa de estudo e por me proporcionar a oportunidade de se dedicar a pesquisa científica, minha grande paixão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, que sempre esteve ao meu lado auxiliando e orientando meus passos, obrigada pela confiança, parceria, incentivo e transmissão dos seus valiosos conhecimentos acadêmicos e de vida. Aos demais integrantes do grupo LIMA e aos operadores Sandoval e Antônio, por todo o apoio e auxílio na fase experimental.

A minha coorientadora, Profa. Dra. Viviane Castro dos Santos, pela sua dedicação em prol do desenvolvimento deste trabalho e por me acompanhar nessa árdua jornada, se tornando meu porto seguro. Obrigada também, pela acolhida, sensibilidade e paciência nos momentos de desespero e pela lealdade dentro e fora do ambiente acadêmico.

Aos membros da comissão avaliadora, Prof. Dr. Max César Araújo e ao Prof. Dr. Carlos Alberto Viliotti por aceitarem o convite e agregar seus conhecimentos e sugestões para o aprimoramento deste trabalho. A vocês, meus sinceros agradecimentos.

A todos os professores e orientadores que passaram por minha formação, pelos aprendizados e por todo legado deixado.

Aos meus verdadeiros amigos, por serem grandes aliados nessa caminhada. Essa vitória é nossa!

RESUMO

As operações agrícolas realizadas constantemente em campo submetem os operadores a níveis de vibração de corpo inteiro que podem gerar efeitos nocivos à saúde. Considerando que um dos fatores que interferem na intensidade da vibração são os pneus equipados ao trator agrícola, objetivou-se com esse trabalho avaliar os níveis de vibração incidente sobre o corpo inteiro de um operador de trator agrícola sob influência de dois tipos de pneus: novos e com garras desgastadas, utilizando três pressões de inflação, sendo essas variáveis analisadas em três velocidades. O experimento foi realizado de acordo com as diretrizes das normas NHO – 09, NBR ISO 5008 e ISO 2631-1. O experimento foi conduzido em área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA), pertencente a UFC, em Fortaleza/CE. Foi utilizado um trator Valtra® modelo BM 120 4x2 TDA, de 120 cv, equipado com pneus 14.9-24 R-1 no eixo dianteiro e 18.4-34 R-1 no eixo traseiro. A rotação de trabalho foi fixada em 1860 rpm para três velocidades: V1 – 4,2 km h⁻¹, V2 – 6,2 km h⁻¹ e V3 – 8,6 km h⁻¹. Foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado 2x3, sendo dois conjuntos de pneus, diagonais desgastados (PD) e diagonais novos (PN) e três pressões de inflação P1, P2 e P3 correspondentes a 96,5, 110,3 e 124,1 kpa para os pneus dianteiros e 110,3, 124,1 e 137,9 kpa para os traseiros, com 5 repetições e duração de percurso de 3 minutos para cada avaliação. A aquisição dos dados de vibração foi feita com um acelerômetro triaxial, fixado no assento e o medidor de vibração da Delta OHM, HD 2030. Foram avaliados os seguintes parâmetros de vibração: Aceleração média, pico máximo, fator de crista, aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*); e Valor de Dose de Vibração Resultante (VDVR). A determinação do desgaste das garras se deu por meio de um paquímetro digital, afixado em um apoio de madeira. Para análise estatística dos dados foi utilizado o programa ASSISTAT versão 7.7 beta, verificada a normalidade, os mesmos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Conclui-se que os tratamentos com pneu novo em combinação com as menores pressões de inflação, apresentaram menores índices de vibração de corpo inteiro. Além disso, todos os tratamentos apresentaram valores de VDVR e *aren* abaixo do limite de exposição, o que não caracteriza essas condições de trabalho como insalubre.

Palavras-chave: ergonomia; riscos ocupacionais; velocidade de deslocamento.

ABSTRACT

Agricultural operations constantly performed in the field submit operators to whole body vibration levels that can generate harmful effects to health. Considering that one of the factors that interfere in the intensity of vibration are the tires fitted to the agricultural tractor, the objective of this work was to evaluate the levels of vibration incident on the whole body of an agricultural tractor operator under the influence of two types of tires: new and with worn claws, using three inflation pressures, and these variables were analyzed at three speeds. The experiment was carried out according to the guidelines of the NHO - 09, NBR ISO 5008 and ISO 2631-1 norms. The experiment was conducted in the experimental area of the Laboratory for the Investigation of Accidents with Agricultural Machinery (LIMA), belonging to the UFC, in Fortaleza/CE. A Valtra® BM 120 4x2 TDA model tractor was used, with 120 hp, equipped with 14.9-24 R-1 tires on the front axle and 18.4-34 R-1 tires on the rear axle. The work rotation was fixed at 1860 rpm for three speeds: V1 - 4.2 km h⁻¹, V2 - 6.2 km h⁻¹ and V3 - 8.6 km h⁻¹. The 2x3 Completely Randomized Design was used, with two sets of tires, worn diagonals (PD) and new diagonals (PN) and three inflation pressures P1, P2 and P3 corresponding to 96.5, 110.3 and 124.1 kpa for the front tires and 110.3, 124.1 and 137.9 kpa for the rear tires, with 5 repetitions and travel time of 3 minutes for each evaluation. The vibration data acquisition was done with a triaxial accelerometer, fixed on the seat and the Delta OHM vibration meter, HD 2030. The following vibration parameters were evaluated: mean acceleration, maximum peak, crest factor, normalized exposure resultant acceleration (aren); and Vibration Dose Resultant Value (VDVR). Determination of claw wear was done using a digital caliper, affixed to a wooden support. For statistical analysis of the data the ASSISTAT 7.7 beta program was used. Once normality was verified, they were submitted to variance analysis using the F test, and when significant, the means were compared using the Tukey test, at 5% significance level. The conclusion is that the treatments with new tires in combination with lower inflation pressures presented lower whole-body vibration rates. In addition, all treatments presented VDVR and aren values below the exposure limit, which does not characterize these working conditions as unhealthy.

Keywords: ergonomics; occupational risks; travel speed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	-	Parâmetros característicos de vibração	19
Figura 2	-	Faixas de frequência de ressonância do corpo humano	21
Figura 3	-	Sistema ortogonal dos eixos para a medição da vibração.....	22
Figura 4	-	Projeto de disco semirrígido para acelerômetros do assento.....	26
Figura 5	-	Curvas de ponderação em frequência para vibração de corpo inteiro.....	27
Figura 6	-	Constituição de um pneu agrícola.....	28
Figura 7	-	Área experimental utilizada nos ensaios.....	34
Figura 8	-	Método gravimétrico de umidade do solo.....	35
Figura 9	-	Trator Valtra BM 120.....	36
Figura 10	-	Assento do trator BM120.....	38
Figura 11	-	Medidor de vibração Delta OHM HD 2030 e acelerômetro no seatpad.....	39
Figura 12	-	“Seatpad” fixado ao assento.....	40
Figura 13	-	Instrumento para medição das garras.....	42
Figura 14	-	Aferição da pressão de inflação com calibrador.....	43
Figura 15	-	Determinação da área de contatos dos pneus.....	44
Figura 16	-	Interface do programa ImageJ.....	44
Figura 17	-	Interface do software Noise Studio® 6.95.....	48
Figura 18	-	Aceleração média ($m.s^{-2}$) nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 4,2 km h ⁻¹	52
Figura 19	-	Aceleração média ($m.s^{-2}$) nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	52
Figura 20	-	Aceleração média ($m.s^{-2}$) nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	53
Figura 21	-	Pico máximo nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 4,2 km h ⁻¹	58
Figura 22	-	Pico máximo nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	59
Figura 23	-	Pico máximo nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	59
Figura 24	-	Fator de crista nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 4,2 km h ⁻¹	63
Figura 25	-	Fator de crista nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	64
Figura 26	-	Fator de crista nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	64
Figura 27	-	Valores de aren (Aceleração resultante de exposição normalizada - $m.s^{-2}$) nas três velocidades de deslocamento.....	68

Figura 28 - Valores de VDVR (valor de dose de vibração resultante - $m.s^{-1,75}$) nas três velocidades de deslocamento..... 68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Critério de julgamento e tomada de decisão segundo a NHO-09.....	46
Quadro 2 -	Aceleração RMS em relação ao conforto.....	47
Quadro 3 -	Medidas preventivas e corretivas, com base na NHO-09.....	47
Quadro 4 -	Características do medidor de vibração HD 2030 e do acelerômetro 356B41.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	-	Valores percentuais de umidade do solo no momento dos ensaios.....	36
Tabela 2	-	Adequação de peso do trator Valtra BM120.....	37
Tabela 3	-	Tratamentos realizados do experimento.....	41
Tabela 4	-	Características dos pneus utilizados e integridade.....	42
Tabela 5	-	Pressão interna de ar nos pneus.....	43
Tabela 6	-	Áreas de contatos dos rodados utilizados.....	45
Tabela 7	-	Valores médios de aceleração média ($m.s^{-2}$) nos eixos X, Y, Z e resultante, Teste F e Teste de Normalidade de Anderson-Darling.....	50
Tabela 8	-	Valores de pico máximo de aceleração ($m.s^{-2}$) nos eixos X, Y, Z e resultante, Teste F e Teste de Normalidade de Anderson-Darling.....	57
Tabela 9	-	Valores de fator de crista ($m.s^{-2}$) nos eixos X, Y, Z e resultante, Teste F e Teste de Normalidade de Anderson-Darling.....	61
Tabela 10	-	Valores de aren ($m.s^{-2}$) e VDVR ($m.s^{-1,75}$), Teste F e Teste de Normalidade de Anderson-Darling para velocidade de deslocamento $4,2 \text{ Km h}^{-1}$	66
Tabela 11	-	Análise de variância da Aceleração média no eixo X na velocidade de $4,2 \text{ km h}^{-1}$	82
Tabela 12	-	Análise de variância da Aceleração média no eixo X na velocidade de $6,2 \text{ km h}^{-1}$	82
Tabela 13	-	Análise de variância da Aceleração média no eixo X na velocidade de $8,6 \text{ km h}^{-1}$	82
Tabela 14	-	Análise de variância da Aceleração média no eixo Y na velocidade de $4,2 \text{ km h}^{-1}$	83
Tabela 15	-	Análise de variância da Aceleração média no eixo Y na velocidade de $6,2 \text{ km h}^{-1}$	83
Tabela 16	-	Análise de variância da Aceleração média no eixo Y na velocidade de $8,6 \text{ km h}^{-1}$	83
Tabela 17	-	Análise de variância da Aceleração média no eixo Z na velocidade de $4,2 \text{ km h}^{-1}$	84
Tabela 18	-	Análise de variância da Aceleração média no eixo Z na velocidade de $6,2 \text{ km h}^{-1}$	84
Tabela 19	-	Análise de variância da Aceleração média no eixo Z na velocidade de $8,6$	

	km h ⁻¹	84
Tabela 20 -	Análise de variância da Aceleração média Resultante na velocidade de 4,2 km h ⁻¹	85
Tabela 21 -	Análise de variância da Aceleração média Resultante na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	85
Tabela 22 -	Análise de variância da Aceleração média Resultante na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	85
Tabela 23 -	Análise de variância do Pico máximo no eixo X na velocidade de 4,2 km h ⁻¹	86
Tabela 24 -	Análise de variância do Pico máximo no eixo X na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	86
Tabela 25 -	Análise de variância do pico máximo no eixo X na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	86
Tabela 26 -	Análise de variância do pico máximo no eixo Y na velocidade de 4,2 km h ⁻¹	87
Tabela 27 -	Análise de variância do pico máximo no eixo Y na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	87
Tabela 28 -	Análise de variância do pico máximo no eixo Y na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	87
Tabela 29 -	Análise de variância do pico máximo no eixo Z na velocidade de 4,2 km h ⁻¹	88
Tabela 30 -	Análise de variância do pico máximo no eixo Z na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	88
Tabela 31 -	Análise de variância do pico máximo no eixo Z na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	88
Tabela 32 -	Análise de variância do pico máximo Resultante na velocidade de 4,2 km h ⁻¹	89
Tabela 33 -	Análise de variância do pico máximo Resultante na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	89
Tabela 34 -	Análise de variância do pico máximo Resultante na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	89
Tabela 35 -	Análise de variância do fator de crista no eixo X na velocidade de 4,2 km h ⁻¹	90

Tabela 36 -	Análise de variância do fator de crista no eixo X na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	90
Tabela 37 -	Análise de variância do fator de crista no eixo X na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	90
Tabela 38 -	Análise de variância do fator de crista no eixo Y na velocidade de 4,2 km h ⁻¹	91
Tabela 39 -	Análise de variância do fator de crista no eixo Y na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	91
Tabela 40 -	Análise de variância do fator de crista no eixo Y na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	91
Tabela 41 -	Análise de variância do fator de crista no eixo Z na velocidade de 4,2 km h ¹	92
Tabela 42 -	Análise de variância do fator de crista no eixo Z na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	92
Tabela 43 -	Análise de variância do fator de crista no eixo Z na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	92
Tabela 44 -	Análise de variância do fator de crista resultante na velocidade de 4,2 km h ⁻¹	93
Tabela 45 -	Análise de variância do fator de crista resultante na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	93
Tabela 46 -	Análise de variância do fator de crista resultante na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	93
Tabela 47 -	Análise de variância de aren na velocidade de 4,2 km h ⁻¹	94
Tabela 48 -	Análise de variância de aren na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	94
Tabela 49 -	Análise de variância de aren na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	94
Tabela 50 -	Análise de variância de VDVR na velocidade de 4,2 km h ⁻¹	95
Tabela 51 -	Análise de variância de VDVR na velocidade de 6,2 km h ⁻¹	95
Tabela 52 -	Análise de variância de VDVR na velocidade de 8,6 km h ⁻¹	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira do Poliestireno Expandido
aren	Aceleração resultante de exposição normalizada
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FC	Fator de crista
FUNDACENTRO	Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho
ISO	International Organization for Standardization
LE	Limite de exposição
LIMA	Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
NR	Norma Regulamentadora
NUTEC	Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará
RMS	Raiz média quadrada ou aceleração média
TDA	Tração dianteira auxiliar
VCI	Vibração de corpo inteiro
VDVR	Valor de dose de vibração resultante

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	Fatores de risco na operação com máquinas agrícolas	17
2.2	Vibração	19
2.3	Vibração de corpo inteiro	21
2.3.1	<i>Efeitos da vibração na saúde humana</i>	23
2.3.2	<i>Normas para avaliação de vibração de corpo inteiro</i>	24
2.4	Vibração de corpo inteiro em tratores agrícolas e influência dos pneus	27
2.4.1	<i>Pressão de inflação e desgaste dos pneus</i>	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1	Local do experimento	34
3.2	Trator utilizado	36
3.2.1	<i>Velocidades de deslocamento</i>	37
3.2.2	<i>Assento do trator agrícola</i>	38
3.3	Equipamentos utilizados para medição de vibração	39
3.4	Delineamento experimental	40
3.5	Variáveis	41
3.5.1	<i>Desgaste dos pneus</i>	41
3.5.2	<i>Pressão de inflação dos pneus</i>	43
3.6	Parâmetros de vibração avaliados	45
3.6.1	<i>Critério de julgamento e tomada de decisão</i>	45
3.6.2	<i>Medidas preventivas e corretivas</i>	47
3.7	Análise estatística dos dados	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1	Aceleração média nos eixos X, Y, Z e Resultante	50
4.2	Pico Máximo de aceleração nos eixos X, Y, Z e Resultante.....	56
4.3	Fator de Crista nos eixos X, Y, Z e Resultante.....	61
4.4	Aceleração resultante de exposição normalizada (aren) e valor de dose de vibração resultante (VDVR).....	66
5	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS	73

APÊNDICE A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES DE ACELERAÇÃO MÉDIA NOS EIXOS X, Y, Z e RESULTANTE	82
APÊNDICE B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES DE PICO MÁXIMO DE VIBRAÇÃO NOS EIXOS X, Y, Z E RESULTANTE	86
APÊNDICE C – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES FATOR DE CRISTA NOS EIXOS X, Y, Z E RESULTANTE	90
APÊNDICE D – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE AREN.....	94
APÊNDICE E – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE VDVR.....	95
ANEXO A – NHO 09	96
ANEXO B – RELATÓRIO TÉCNICO REFERENTE A PESAGEM DO TRATOR	101
ANEXO C – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO MEDIDOR E DO ACELERÔMETRO	102

1 INTRODUÇÃO

Estudos referentes ao fenômeno da vibração ocupacional em máquinas agrícolas vêm sendo feitos na medida em que se percebe a real necessidade em se avaliar um fenômeno que gera não somente desconforto, mas também pode acarretar aos operadores sérios problemas de ordem patológica, fisiológica e psicológica como: fadiga, arritmia cardíaca, problemas na coluna vertebral, distúrbios do sono, problemas na visão e concentração, entre outros.

É fundamental considerar o operador como um agente fundamental na produção agrícola, visto que a longa jornada de trabalho, muitas vezes aliada a condições insalubres, coloca em risco a qualidade do trabalho deste profissional em campo além de gerar, em casos mais graves, afastamento das suas atividades.

Sabendo que todas as máquinas emitem vibração quando estão em funcionamento, a busca é por alterar as variáveis que possam influenciar nesse processo e minimizá-lo de tal forma que diminua a vibração transmitida ao operador.

Para estabelecer critérios e procedimentos para avaliação da exposição ocupacional a Vibrações de Corpo Inteiro (VCI), foi elaborada a Norma de Higiene Ocupacional - NHO 09, que apresenta elementos para a análise preliminar e enquadramento das situações abordadas como salubres ou não, além de disponibilizar critérios de julgamento e de tomada de decisão em relação à adoção de medidas preventivas e corretivas com base em dados quantitativos.

Sabendo que os pneus equipados aos tratores agrícolas têm grande influência na transferência de vibrações para o operador, percebeu-se a necessidade de pesquisar acerca da interferência do desgaste das garras desses pneus e da pressão de inflação nesse fenômeno. Se constatado, por exemplo, que um maior desgaste das garras dos pneus, interfere na vibração, uma avaliação ocupacional realizada num determinado momento, com pneus desgastados pode interferir na caracterização de insalubridade.

Avaliar se fatores relacionados aos pneus e determinar se eles influenciam ou não na vibração, garante que esses fatores possam ser controlados e medidas possam ser adotadas a fim garantir o bem-estar do operador.

Sabe-se que pneus muito desgastados e condições inadequadas de pressão de inflação afetam diretamente a área de contato do pneu-solo e conseqüentemente proporcionam maior consumo de combustível, problemas de aderência, distribuição do peso inadequada e compactação do solo, além de afetarem a força de tração da máquina e comprometerem todo

o equilíbrio dinâmico dos tratores. Então o acompanhamento desses fatores já deve existir independentemente da preocupação ergonômica.

Certamente, alguns dos agentes que interferem na vibração de corpo inteiro, são difíceis de serem controlados, mas o desgaste das garras e a pressão de inflação podem ser facilmente verificadas com dispositivos simples. A pressão de inflação pode ser verificada constantemente com um calibrador e o desgaste dos pneus pode ser determinado facilmente com um dispositivo de três pontos afixado num paquímetro.

Seria interessante por exemplo, dar preferência a trabalhar em condições de pressão de inflação dos pneus em que as máquinas pudessem realizar suas operações com máxima eficiência e os trabalhadores estivessem menos expostos a vibrações. No caso do desgaste das garras, isso não quer dizer que, caso constatado, que um pneu mais desgastado aumente a exposição do operador à vibração, o proprietário deve providenciar a troca imediata do mesmo, mas independente disso, já saberemos que naquelas condições isso vai influenciar atenuando ou amplificando a vibração ocupacional do trabalhador.

Pode-se também, relacionar os resultados futuros deste trabalho, com a avaliação de vibração de diversos equipamentos de preparo de solo, a fim de verificar o quanto o implemento pode atenuar ou amplificar a vibração do trator nessas condições.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do desgaste das garras de pneus diagonais e da pressão de inflação, na magnitude das vibrações ocupacionais de corpo inteiro em operadores de tratores agrícolas 4x2 TDA, avaliadas em três velocidades de deslocamento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesse tópico será abordado de forma geral, pontos que contribuem para o embasamento teórico do trabalho que envolve uma breve revisão sobre temas relevantes, como: fatores de risco na operação com máquinas agrícolas, vibração ocupacional e umidade do solo.

2.1 Fatores de risco na operação com máquinas agrícolas

Com a inserção de máquinas e insumos modernos na agricultura, houve aumento significativo nos índices de produtividade. Porém, nesse cenário, o emprego de máquinas agrícolas intensificou o que se denomina de risco a que estão sujeitos os trabalhadores rurais durante suas atividades (DEBIASI *et al.*, 2004).

O risco define-se como fonte ou circunstância com potencial para provocar danos como lesão, doença, dano a propriedade, danos ao meio ambiente do local de trabalho ou uma combinação destes (SCHLOSSER *et al.*, 2004).

Considerando, portanto, a dinâmica das atividades agrícolas desenvolvidas no meio rural, observa-se diversos riscos com relação a saúde e a segurança dos trabalhadores, como: acidentes com equipamentos mecânicos móveis; riscos respiratórios; ferimentos, coices e mordidas de animais, imprevistos quando da manipulação de produtos químicos, exposição ao calor ou ao frio; doenças de pele, níveis de ruídos e vibração perigosos e riscos elétricos (PINZKE, 1999). Segundo Gonçalves (2006) no preparo de solo, o terreno deverá ficar apto a receber a cultura. Com isso, as operações sucessivas com tratores e equipamentos acoplados, expõe o operador de trator aos riscos ocupacionais.

Nas atividades de operação em campo com máquinas agrícolas, o operador está exposto a diversos fatores de risco que podem resultar em graves acidentes ou mesmo gerar danos à saúde colocando-o em situação de vulnerabilidade, podendo afetar sua integridade, e seu bem-estar físico e psicológico. PONZETTO (2010), classifica esses riscos ambientais ocupacionais e os agrupa da seguinte forma:

- ✓ Riscos Químicos: causados por substâncias nocivas que podem ser absorvidos pelo corpo ou penetrar no operador através da pele, boca, estômago, nariz e pulmões (via respiratória). Entre esses agentes, estão: poeiras, neblinas, fumos, gases, vapores, névoas, compostos ou outros produtos químicos.

- ✓ Riscos Físicos: Relacionados as condições nocivas encontradas no ambiente de trabalho, ou condições externas a esse ambiente. Este tipo de risco, diferente do químico, não penetra no organismo, mas pode afetar a saúde do trabalhador devido à nocividade do ambiente. Estes os agentes ou fatores de riscos físicos, podemos citar: ruídos, vibrações, radiações, frio, calor, pressões anormais e umidade.
- ✓ Riscos Biológicos: Representam aqueles que podem transmitir doenças, colocando em risco este trabalhador em caso de contato com animais peçonhentos, protozoários, bacilos, vírus, bactérias, parasitas, fungos, insetos e outros microrganismos.
- ✓ Riscos Ergonômicos: Referem-se aos riscos que podem afetar a saúde física e psicológica acarretados por atividades repetitivas e monótonas, esforço físico constante, cansaço durante longas jornadas de trabalho, plataforma de trabalhos impróprios às características físicas do trabalhador, assentos inadequados, posturas incorretas, comando rígido de tempo para produtividade, determinação de ritmos excessivos, trabalho noturno, repetitividade e estresse.

Alguns agentes relacionados a esses fatores de risco, merecem destaque. A vibração presente no trator, pode ser transferida aos operadores em frequências e intensidades nocivas à saúde, provocando a contração e relaxamento contínuo do sistema muscular e podendo causar: náuseas, efeitos sobre o trato intestinal, coluna vertebral, interferência na visão, problemas na coluna, sistema respiratório, órgãos abdominais e pode ocorrer perda da sensibilidade e força das mãos e dos pés. O ruído, em função da intensidade e do tempo de exposição, pode causar danos irreversíveis com a perda da audição, além de afetar negativamente o desempenho durante a operação, levando à fadiga, erros e favorecendo a ocorrência de acidentes (BRASIL, 2005).

A temperatura, afeta o organismo humano na medida em que a todo instante ocorrem no corpo humano processos metabólicos que estão em curso para a manutenção da temperatura corpo, ao custo de elevado dispêndio de energia, ou seja, exposição a temperaturas altas ou baixas provoca, portanto, fadiga. Em relação a umidades, quando baixas causam desidratação e problemas respiratórios e quando elevadas geram desconforto pela dificuldade na transpiração, influenciando a sensação térmica. Já poeira, névoas e fumaça prejudicam a respiração e provocam irritação das mucosas. A iluminação quando não é apropriada, o operador se desloca constantemente buscando enxergar, associado a isso há expressivo esforço mental, causando fadiga e em algumas circunstâncias podem ofuscar a visão do operador e causar danos aos olhos (GIMENEZ, 2016).

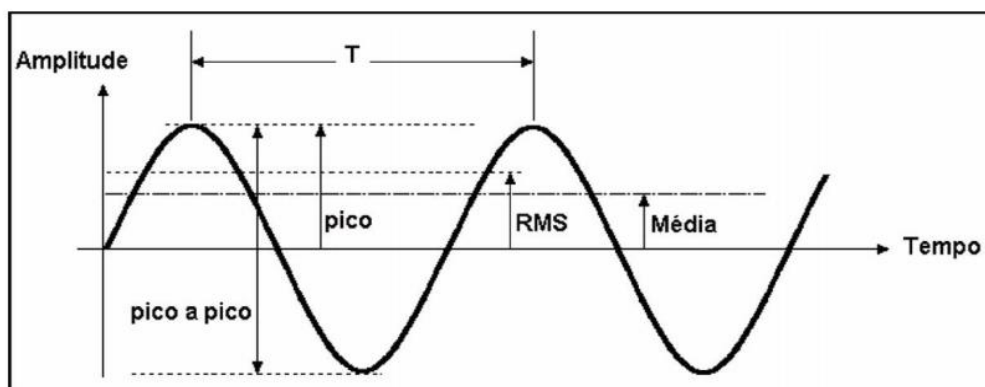
2.2 Vibração

Entre os agentes que afetam os operadores, a vibração ainda é pouco estudada, mesmo sua ocorrência sendo frequente e tendo forte influência sobre as condições de trabalho. As implicações desse agente na saúde humana são consideráveis, sendo necessários, portanto, avaliação e controle. O fenômeno ganha cada vez mais destaque, a medida em que, a preocupação com a ergonomia dos trabalhadores cresce a cada dia que passa.

Vibrações podem ser definidas como quaisquer oscilações mecânicas regulares e irregulares de um corpo em volta de um ponto central inerte, devido a ação de forças que agem sobre o mesmo (SELL, 2002). Santos (2002, p. 5), se refere a vibração como a oscilação de um corpo em volta de um ponto em equilíbrio e reforça que estas são indesejadas, devido ao dispêndio de energia gerado por ela. Isso reitera a concepção de Back (1983), que menciona a vibração como sendo “um subproduto indesejado de sistemas mecânicos”. Mendes (2005) define a vibração como uma grandeza vetorial e, portanto, com magnitude, direção e sentido.

Quando se fala em vibração, a intensidade, a frequência, a direção e a duração ou tempo de exposição, são fatores físicos importantes de se destacar (ANFLOR, 2003). A Figura 1, mostra os parâmetros característicos de ondas de vibração senoidal no corpo.

Figura 1 - Parâmetros característicos de vibração



Fonte: Brüel e Kjør (1989).

O valor RMS (raiz quadrada dos valores quadrados médios dos movimentos) é a mais importante medida da amplitude, pois representa a média da energia contida no movimento vibratório e é o parâmetro mais utilizado para a verificação da aceleração, pois indica o valor eficaz da vibração (SALIBA, 2014). O pico a pico, mostra a dupla amplitude da onda; a amplitude, corresponde ao deslocamento máximo do corpo em relação a posição de equilíbrio; e a intensidade da vibração, relaciona-se ao deslocamento, à velocidade e à aceleração (RIBAS, 2012).

Toda vibração possui velocidade, aceleração e frequência, resultando em uma quantidade de ciclos completos por minuto. A frequência neste caso, é definida como o número de repetições em uma certa unidade de tempo, normalmente medida em ciclos por segundo -Hertz (FRANCHINI, 2007).

Todos os corpos dotados de massa e elasticidade são capazes de produzir vibração. Quando se trata de tratores agrícolas com motores de combustão interna, certos componentes têm ainda mais acentuada a tendência em provocar vibrações mecânicas (TAGHIZADEH-ALISARAEI *et al.*, 2012). Mendes (2005), ressalta que, nesses veículos, as vibrações são oriundas das agitações constantes que atuam sobre os componentes que fazem a conversão da energia química do combustível em movimento, como árvore de manivelas, bielas, pistões, entre outros.

Segundo SALIBA (2014), as vibrações podem ser assim classificadas:

- Vibração ocupacional de corpo inteiro: Transmitidas ao corpo como um todo, na maioria das vezes por meio da superfície de suporte, como pé, costas, nádegas ou na área de apoio de uma pessoa encostada. Em veículos como caminhão, trator, empilhadeira, ônibus, trem, o operador recebe a vibração em todo o corpo transmitida pelo assento.
- Vibração ocupacional mão e braço ou localizada: Alcançam certas partes do corpo, sobretudo mãos e braços pelo uso ferramentas manuais vibratórias. Operador de martetele pneumático, operador de lixadeira, de motosserra, entre outros, estão propensos a este tipo de vibração.
- Vibração para fins de conforto: Atividades onde o controle da vibração se dá a fim de proporcionar uma situação mais confortável, sendo os valores de conforto, subjetivos. A ISO 2.631 não estabelece limite para o conforto, apenas indica acelerações em que as reações das pessoas são prováveis, como viagem em veículos.
- Vibração para fins de conforto da comunidade (meio ambiente): Aquelas que podem causar desconforto do sossego público, como aquelas percebidas em estruturas de prédios devido a fontes externas.
- Vibração de máquinas: Causadas pelas máquinas que podem indicar problemas de manutenção. É recomendado, que os técnicos de manutenção façam a vibração e comparem com os valores estabelecidos pelas normas técnicas.

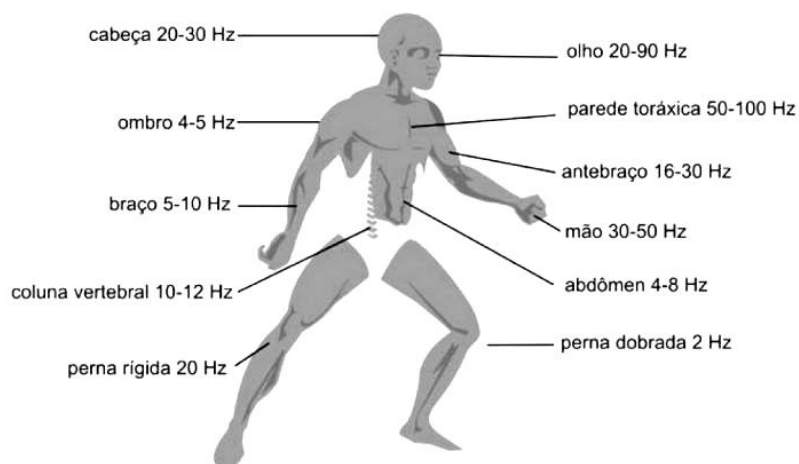
2.3 Vibração de corpo inteiro

Smith e Leggat (2005) definem Vibração de Corpo Inteiro (VCI) como sendo aquela que é transferida do meio externo diretamente para o corpo de uma pessoa em uma determinada faixa de frequência que afeta não só mãos e braços, mas todo o corpo, principalmente as áreas da coluna vertebral, cabeça e órgãos abdominais.

As vibrações de corpo inteiro (VCI) são consideradas de baixa frequência e alta amplitude, e situam-se na faixa de 1 a 80Hz, ocorrendo quando há uma vibração dos pés (em pé) ou do assento (sentado). Essas vibrações ocorrem frequentemente nas atividades de transporte e vibrações transmitidas por máquinas industriais, sendo normatizadas pela Norma ISO 2631 (1997) (RIBAS, 2014).

Ao contrário de outros agentes, onde o trabalhador é sujeito passivo, expondo-se aos riscos, no caso das vibrações, deve haver, caracteristicamente, o contato entre o trabalhador e o equipamento ou máquina que transmita a vibração. A vibração consiste em movimento inerente aos corpos dotados de massa e elasticidade e o corpo humano possui uma vibração natural, onde cada região vibra em uma frequência característica (Figura 2) e quando uma vibração exterior ao corpo, de frequência semelhante atinge determinada parte, acontece o que se chama de ressonância ou amplificação da vibração, podendo causar diversos tipos de doenças (VENDRAME, 2006).

Figura 2 - Faixas de frequência de ressonância do corpo humano.



Fonte: Vedrame (2017).

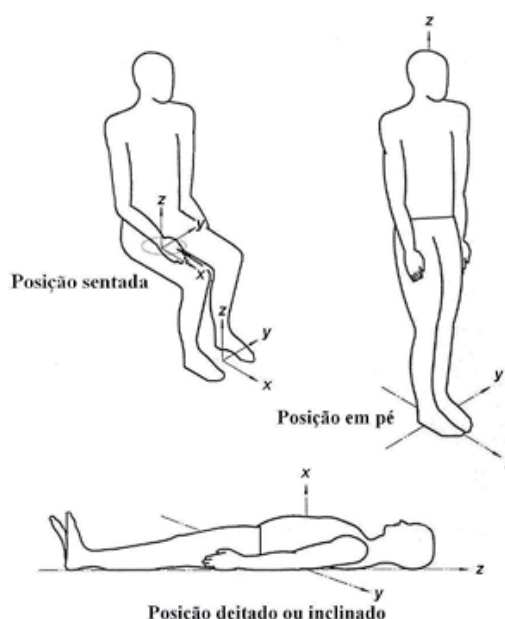
A ressonância pode ser definida, como um fenômeno onde um corpo ou sistema é excitado em sua frequência natural e, de acordo com a energia produzida, pode entrar em colapso (ANFLOR, 2003). Berasategui (2000) mostrou que vibrações abaixo de 1 Hz de

frequência ocasionam sensação de enjoo, entre 3 e 8 Hz provocam desordens e afetam o intestino e a coluna vertebral, e entre 15 e 24 Hz, podem intervir na visão. Balbinot (2001), define o corpo humano como uma sofisticada máquina biomecânica e a sensibilidade à vibração está relacionada a frequência, postura, tensão muscular, amplitude e direção da vibração, além de duração e dose da exposição.

Para análise do fenômeno de vibração, são definidas três posições para o corpo humano: em pé, onde a transmissão das vibrações ocorre pelos pés; sentado, posição na qual as partes em contato com o assento recebem a vibração; deitado, onde toda a parte posterior do corpo são responsáveis pela transmissão (SALIBA, 2014).

A vibração pode ser medida nos três eixos ortogonais (X, Y e Z), nas direções de um sistema de coordenadas que tem origem na posição central do coração, conforme a Figura 3. Em (X), está o eixo longitudinal das costas ao peito, (Y) representa a direção transversal da direita para a esquerda e (Z) representa o movimento vertical no sentido dos pés à cabeça, atingindo a coluna vertebral, de acordo com a ISO 2631 (1997). Vale destacar, que em baixas frequências, a sensibilidade do corpo humano é maior para as vibrações transversais (eixos x e y) do que para as longitudinais (TOSIN, 2009).

Figura 3 - Sistema ortogonal dos eixos para a medição da vibração.



Fonte: ISO 2631:1997

A vibração de corpo inteiro é um estímulo difuso que estimula múltiplos receptores concomitantemente causando estresse geral (Pekkarinen, 1995). Assim, Donati

(2002) aponta que para solucionar os problemas referentes a vibração, deve-se considerar a escolha da máquina adequada para a atividade, seu correto carregamento e manutenção, ajustes do assento do operador e determinação de perfil de bancos que auxiliem a postura do trabalhador.

2.3.1 Efeitos da vibração na saúde humana

Maurice Raynaud, médico francês, foi o primeiro a descrever em 1862, os distúrbios vasculares observados em indivíduos expostos a vibrações de mãos e braços, em sua tese intitulada *Local asphyxia and symmetrical gangrene of the extremities* (HAYWARD, 1994).

Durante o tempo em que o operador trabalha com tratores agrícolas, é necessário que este esteja muito bem apoiado em seu posto de trabalho. Entre os órgãos e membros diretamente atingidos pelos movimentos dos tratores, a coluna cervical do operador é a que recebe a maior carga de impactos durante o trabalho (RIBAS, 2010). A exposição do operador as vibrações resultam na ocorrência de diversas patologias, sobretudo aquelas relacionadas a coluna que prejudicam o bem-estar do operador e pode causar danos graves à saúde (FIGUEIREDO *et al.* 2016).

Praticamente, todo o corpo do operador está exposto a algum tipo de lesão provocada pelos diversos movimentos executados pelos tratores agrícolas durante os trabalhos diários (FONTANA, 2005). Estudos já mostram que, operadores de tratores apresentam treze vezes mais chances de desenvolver desordens e lesões na coluna quando comparados a trabalhadores que desenvolvem atividades em escritórios, por exemplo (MARIN, 2017).

Kroemer e Grandjean (2005), mostraram que as vibrações afetam a percepção visual, o comportamento psicomotor e muscular e ainda que de forma mais sutil, os sistemas circulatório, respiratório e nervoso.

A exposição a vibração de corpo inteiro causa uma complexa distribuição de movimentos oscilatórios e forças dentro do organismo, estando diretamente ligadas ao afastamento de operadores, por doença do trabalho na agricultura, além de ocasionar forte desconforto e fadiga do trabalhador (LANÇAS, *et al.* 2009).

As implicações da vibração dependem também da frequência do movimento, ao qual o trabalhador está exposto, abaixo de 1 Hz causam enjôos, enquanto as frequências entre 3 e 8 Hz afetam os intestinos e a coluna vertebral e aquelas entre 15 e 24 Hz podem interferir na visão (BERASATEGUI, 2000).

A exposição frequente a vibrações ocupacionais pode acarretar alterações 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. A vibração pode lesionar os nervos periféricos, terminais nervosos e mecanorreceptores, provocando os sintomas de amortecimento, formigamento, dor e perda de sensibilidade (FILHO, 2010).

Segundo Sell (2002), os principais problemas pertinentes a vibrações no corpo humano, são:

- Percepção visual e desempenho psicomotor são afetados;
- Redução da capacidade de visão e percepção de coisas;
- Redução do desempenho visual de operadores de máquinas e de motorista;
- Redução da acuidade visual (imagem não nítida, parece tremer);
- Redução da habilidade manual;
- Redução do tratamento mental de informações e execução de movimentos bem coordenados.

2.3.2 Normas para avaliação de vibração de corpo inteiro

A Convenção n.148 da OIT ratificada pelo Brasil e promulgada por meio do Decreto n. 93.413 de 15.10.86 determina que a legislação nacional deva dispor sobre a adoção de medidas no ambiente de trabalho para prevenir e limitar os riscos à vibração e para proteger os trabalhadores contra tais riscos. A Convenção 148 da OIT define assim, o termo “vibrações” como toda vibração transmitida ao organismo humano por estruturas sólidas e que seja danosa à saúde ou contenha qualquer outro tipo de perigo (OIT, 1977).

No Brasil, as Normas Regulamentadoras – NR tratam dos aspectos relacionados à insalubridade das atividades trabalhistas, e a NR 15, estabelece os limites de tolerância para cada atividade com base na exposição do trabalhador ao agente nocivo (BRASIL, 1978). Porém, esta norma não abrange os limites de exposição à vibração, fazendo necessário o uso de normas internacionais para realização dos ensaios, como a ISO 2631 e a diretiva 2002/44/CE da Comunidade Europeia que determinam níveis de ação e limites de exposição humana a vibrações do corpo inteiro (SANTOS, 2014).

As principais normas relacionadas a vibração de corpo inteiro em veículos e equipamentos mecânicos são a ISO 5008, a Norma de Higiene Ocupacional: NHO 09 e a norma ISSO 2631-1. Conforme as normas, as vibrações no corpo humano podem ser classificadas em: vibrações transmitidas simultaneamente à superfície total do corpo e/ou a

partes substanciais dele, vibrações transmitidas ao corpo como um todo através de superfícies de sustentação e vibrações aplicadas a partes específicas do corpo. A NHO 10 trata da vibração em braços e braços e as outras normas, tratam da Vibração de Corpo Inteiro, em sua maior parte (FUNDACENTRO, 2013)

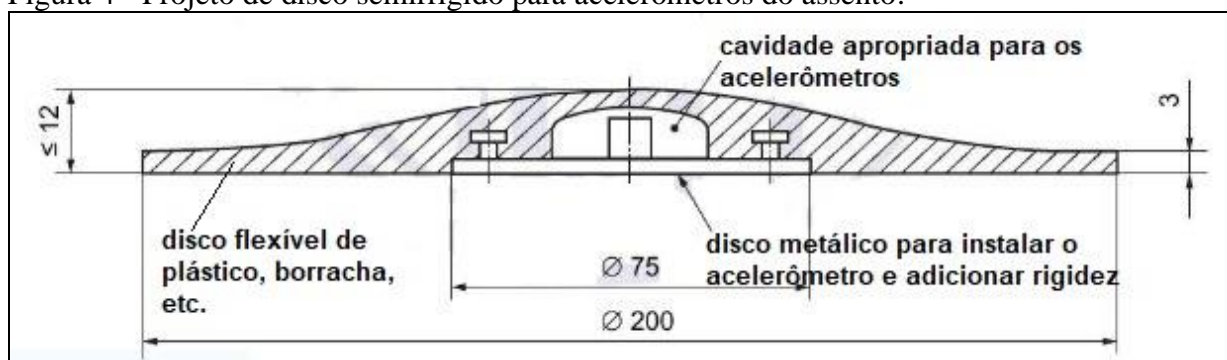
A ISO 2631-1:1997 define que a resposta do corpo às vibrações depende sobretudo dos seguintes fatores:

- Intensidade das vibrações;
- Frequência;
- Direção;
- Duração, ou tempo de exposição.

Para medição de vibração de corpo inteiro, a norma NHO-09 (FUNDACENTRO, 2013) estabelece que sejam usados transdutores (acelerômetros) e medidores devidamente calibrados. A seleção do transdutor de vibrações deve ser feita considerando o tipo de montagem necessária para o devido posicionamento e fixação do transdutor e as características do sinal a ser medido, tais como: frequências, amplitudes, ocorrência de picos elevados. Para avaliação da exposição ocupacional a vibrações transmitidas por assentos, devem ser utilizados acelerômetros de assento construídos especificamente para esta finalidade.

Em 1974, a Society of Automotive Engineers (SAE), projetou um dispositivo semirrígido para instalação do acelerômetro, usado como a interface entre o banco e o corpo do operador (“seatpad”). Griffin e Whitham em 1977 (apud Balbinot, 2001), modificaram este dispositivo, pois o proposto pela SAE não permitia a colocação de uma série de acelerômetros presentes no mercado. O esboço desse modelo faz parte das sugestões da norma ISO 5008 e atualmente, a instalação dos acelerômetros deve estar de acordo com a ISO 5348 e com as instruções do fabricante. Devem ser instalados em um disco semirrígido (Figura 4), de cerca de 12 mm ou menos de espessura e deve ser fabricado de material de borracha ou plástico moldado com dureza de aproximadamente 80-90 Shore A (ISO 5008).

Figura 4 - Projeto de disco semirrígido para acelerômetros do assento.



Fonte: Adaptado de ISO 5008.

As medições devem ser feitas no ponto de medição escolhido de forma que os resultados sejam representativos da exposição ocupacional. Em certas situações de trabalho, nas quais as atividades são realizadas em pé, as medições terão de ser feitas com acelerômetros fixados no piso. A seleção do transdutor ou da forma de fixação deve ser feita de modo a buscar o melhor acoplamento entre o acelerômetro e o ponto de medição, visando ao não comprometimento das condições de operação e das características do sinal de vibração. Sendo assim, não devem ser utilizados tipos de fixação que promovam um fraco acoplamento entre o transdutor e a superfície vibrante e que possam comprometer os resultados obtidos. Normalmente, os fabricantes dos acelerômetros disponíveis no mercado oferecem diferentes alternativas de fixação, tais como: parafusos prisioneiros, cintas, bases magnéticas, cera, entre outras. Devem ser conhecidos os cuidados e as restrições na aplicação das diversas alternativas de fixação (NHO 09).

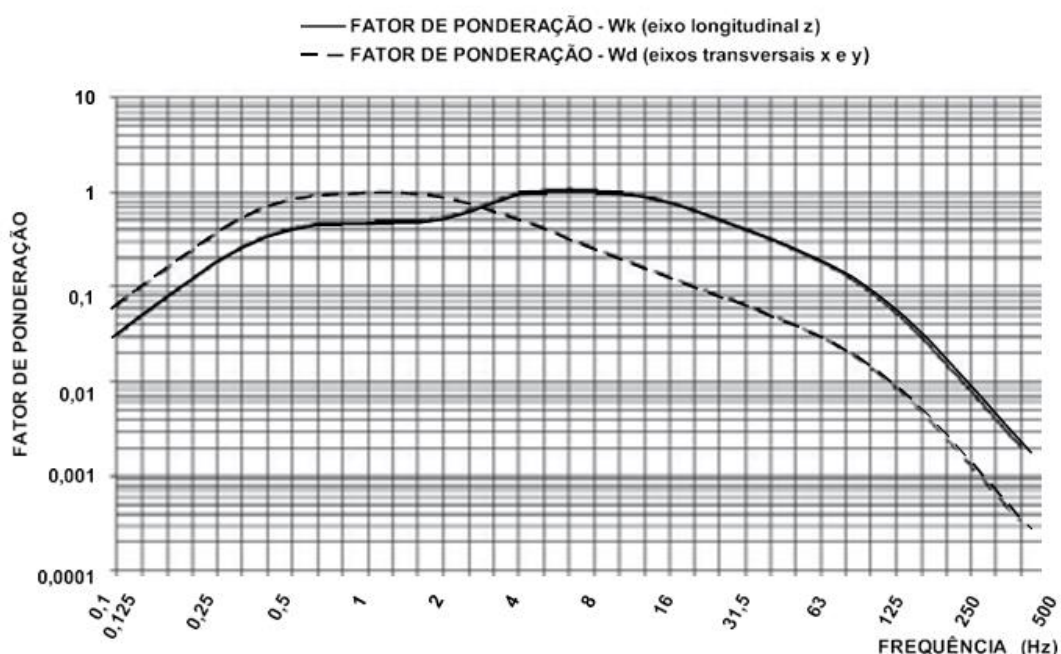
Os medidores a serem utilizados na avaliação da exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro devem ser integradores, atender aos requisitos constantes da Norma ISO 8041 (2005) ou de suas futuras revisões e complementações e estar ajustados de forma a atender aos seguintes parâmetros:

- Circuitos de ponderação para corpo inteiro:
 - W_k para o eixo “z”
 - W_d para os eixos “x” e “y”
- Fator de multiplicação “ f_j ” em função do eixo considerado:
 - $f_x = 1,4$
 - $f_y = 1,4$
 - $f_z = 1,0$

A maneira pela qual as vibrações afetam corpo humano é diferente para as diversas frequências, por isso as acelerações são ponderadas ou corrigidas reduzir essa diferença. A ponderação da frequência se dá de forma a filtrar as frequências que poderiam causar danos à saúde, e com a ponderação adquire-se um valor representativo da aceleração para aquele período. Ponderações são o inverso da frequência do corpo humano, pois a vibração não é linear em todas as frequências, fazendo-se assim necessário corrigir as respostas de sensibilidade em diferentes frequências (ALMEIDA, 2018).

Há diferentes frequências para diferentes eixos. As ponderações de frequência utilizadas pela ISO 2631-1 (1997) são: W_k para o eixo z e W_d para os eixos x e y. Para a curva de ponderação W_d para eixo x e y, o fator multiplicador é 1,4 e para ponderação W_k com fator multiplicador 1 tanto para VCI quanto para VMB. Sendo assim, fator multiplicador 1,4 é a razão entre o valor longitudinal e os transversais da curva de igual resposta, nas faixas de máxima sensibilidade de resposta do corpo humano (SALIBA, 2014). As curvas de ponderação estão representadas na Figura 5.

Figura 5 - Curvas de ponderação em frequência para vibração de corpo inteiro.



Fonte: NHO-09 (2013).

2.4 Vibração de corpo inteiro em tratores agrícolas e influência dos pneus

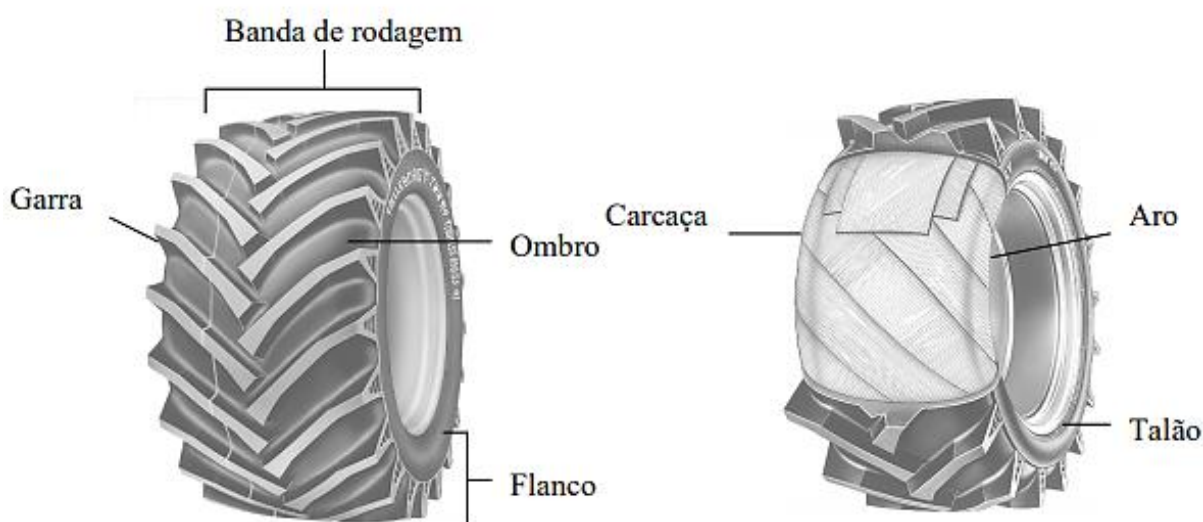
O pneu é composto basicamente por borracha vulcanizada e camadas de cordonéis, também chamadas de lonas, que se estendem ao longo de sua estrutura (MIALHE, 1980). Entre os outros componentes estão a malha (nylon ou poliéster) e cordonéis (açó).

Devido às diferentes propriedades da borracha sintética (maior flexibilidade) e da borracha natural (maior resistência), cada parte do pneu apresenta uma proporção desses elementos. Nos tratores agrícolas, por movimentarem-se em velocidades mais baixas e a fim de diminuir custos, utilizam-se pneus constituídos basicamente de borracha sintética (LOPES, 2000).

De acordo com Mialhe (1980), a borracha sintética absorve as vibrações de modo mais eficiente em comparação com a borracha natural, daí sua importância tanto em aplicações industriais como na fabricação de pneus.

Segundo Wittcott e Reuben (1980), um pneu (Figura 6) é constituído por uma banda de rodagem, componente que entra em contato direto com a superfície de rolamento; flancos, que são as paredes laterais; talão, responsável pelo assento do pneu ao aro; e carcaça, que constitui o conjunto de camadas ou lonas.

Figura 6 - Constituição de um pneu agrícola



Fonte: Renan Prade adaptado de Trelleborg do Brasil, 2002.

O conjunto do pneumático pode ser pensado como um sistema mola-amortecedor, responsável pela dissipação e armazenamento da energia transmitida pelo solo a máquina (SANTOS, 2010). Devido a sua capacidade de deformação, a principal função do pneu é permitir o contato entre a roda e a área de contato mesmo que haja problemas no solo, absorvendo as irregularidades presentes (DONADIO, 2009). Além disso, o pneu tem por função suportar a carga do veículo e criar um sistema de atrito com o solo para diferentes condições de superfície: seco, molhado, coberto por neve ou gelo (LINDEMUTH, 2006).

Prasad, *et al.* (1995), nos tratores, as vibrações são resultantes das interações entre o trator, o microrelevo do solo e sua fonte de potência, sendo que nessas máquinas, o operador recebe as vibrações por meio do assento, do piso, dos comandos manuais e dos pedais. No trator, diversos fatores influenciam na transmissão e nível das vibrações, tais como os pneus, coxins, amortecedores, posição e ajuste do assento (ROTH, 2010). As oscilações presentes no terreno também podem afetar a somatória das vibrações do trator aumentando assim os níveis de vibração resultante (CUNHA, DUARTE, SOUZA, 2012).

As vibrações mecânicas, que ocorrem em tratores, são descritas como senoidais e aleatórias (PRASAD *et al.*, 1995), onde as vibrações senoidais e regulares são possíveis de prever, enquanto as aleatórias e irregulares não possibilitam essa predição.

Os pneus, em tratores agrícolas, apresentam grande importância pois proporcionam o equilíbrio, o deslocamento, o direcionamento e o amortecimento das vibrações, ocasionadas devido às irregularidades do solo, e que podem interferir no desempenho operacional (MONTEIRO *et al.*, 2011).

Os pneus são responsáveis pelo amortecimento das vibrações, uma vez que os sistemas de amortecimentos mais sofisticados são muito limitados, em nível comercial (HILBERT *et al.*, 2004). Os rodados, além de transmitirem a força do motor para a superfície de deslocamento provocando o movimento, permite frenagens seguras, oferecendo a capacidade de suportar o peso do trator (condições estáticas e dinâmicas), atuando como um amortecedor dos impactos conferidos às irregularidades do solo (MIALHE, 1980).

As características de construção dos pneus influenciam diretamente no processo de amortecimento, o pneu radial permite maior deflexão, melhor distribuição de pressão e conseqüentemente reduz a transmissão de vibração ao operador (WULFSOHN, 1988). Corroborando com isso, Barbosa *et al.* (2005) apontou maiores intensidades de vibração em pneus diagonais quando comparados aos radiais, em velocidades de 10 km h⁻¹, sendo que não houve diferença significativa para outros tratamentos. Ainda segundo Ellis (1997), devido as características distintas na flexão, as vibrações no trator quando trabalhando em superfícies mais rígidas, é atenuada com o uso da carcaça radial.

Para Michellin (2009), os pneus diagonais também apresentam características como desgaste mais rápido, menor vida útil e um aquecimento superior em virtude de sua deficiência na condução de calor do material têxtil.

Contudo, somente as características de construção dos pneus, desconsiderando outros fatores que podem influenciar na vibração, pode não ser determinante na atenuação dos índices de vibração. O comportamento e a capacidade de tração dos rodados pneumáticos de

tratores agrícolas são determinados, sobretudo, pela pressão de inflação, tamanho, transferência de peso, força aplicada nos eixos e da fonte de potência (NAGAOKA, 2002). Ribas (2014), avaliando as vibrações de corpo inteiro incidentes em um operador de trator agrícola utilizando pneus radiais, com diferentes pressões de insuflagem em operação de semeadura, identificou que não houve diferença significativa quando a pressão de insuflagem do pneu foi alterada e concluiu que os níveis de vibração foram extrapolados, situando-se na faixa de extremamente desconfortável para os valores eficazes de aceleração (RMS), sendo que o eixo X, horizontal frontal, apresentou os maiores valores de vibração incidentes no operador.

O trator agrícola opera diretamente sobre o solo, ou seja, uma superfície desuniforme, faz com que o conjunto dos rodados importante vibração ao operador. Sendo assim, para a avaliação da vibração que incide sobre o operador deve-se considerar a influência das condições superficiais durante a movimentação do trator e a parte desta vibração que é transmitida ao operador (DHINGRA *et al.* 2003).

O assento, no caso dos tratores agrícolas, deve ser capaz de amortecer a vibração e choques em três direções, agindo em harmonia com o sistema de suspensão da máquina para evitar outros efeitos imprevistos (LIMA, *et al.*, 2005).

Também deve-se estar atento a velocidade de trabalho, pois estudos já apontam que essa variável influencia diretamente nos resultados de vibração. Zehsaz *et al.* (2011) já demonstrou relações positivas entre o aumento da velocidade de deslocamento e a elevação dos valores vibracionais no posto de operação. Sandi (2018), também verificou que as maiores velocidades geraram as piores condições de trabalho, exceto para a aceleração mínima resultante e que a lastragem máxima ocasionou as condições menos prejudiciais quando combinada com as menores velocidades de deslocamento.

Outro dispositivo que influencia na atenuação da vibração em tratores agrícolas, é o estofado. Doimo (2016), concluiu que assentos com estofados em tecido colaboraram para redução dos valores de vibração, a presença de cabine nos tratores proporcionou um ótimo isolamento contra as vibrações e que, em tratores com pneus mais largos ou com rodados duplos, as vibrações foram significativamente reduzidas.

Veiga *et al.* (2013), afirma que o desenvolvimento de máquinas agrícolas, especialmente tratores, tem evoluído muito em termos de ergonomia física nos últimos anos, porém, nem todos os aspectos de ergonomia e segurança, como a instalação de estofados, cabines e pneus, são considerados pelos proprietários ao adquirirem tratores agrícolas, devido à elevação do custo final destas máquinas.

2.4.1 Pressão de Inflação e desgaste dos pneus

De acordo com Mialhe (1974), a durabilidade e o desempenho de um pneumático de tração agrícola dependem, sobretudo, do cuidado em manter a pressão correta de inflação. Pressões abaixo do recomendado pelo fabricante ocasiona ruptura das lonas por excessiva flexão na zona de esforço, corte da câmara de ar, consumo irregular da banda de rodagem e redução da resistência dos flancos aos impactos causados pelos obstáculos e irregularidades do terreno. Pressão superior a indicada ocasiona perda de tração por diminuição da área de contato e por excesso de patinagem; desgaste prematuro da banda de rodagem e aumento no consumo de combustível.

Spagnolo *et al.* (2012) afirmam que utilizando-se pressão interna e lastragem adequadas, é possível obter um maior rendimento e prolongar a vida útil do pneu, além de minimizar problemas de perda de tração, aumento da patinagem e aumento do consumo de combustível.

De acordo com Knob (2010) pode-se variar a pressão dos pneus dentro de limites fixados por uma pressão mínima, que é estabelecida para que o pneu não gire em relação ao aro e/ou não ocorra deformação excessiva; e por uma pressão máxima, determinada pela pressão máxima que a carcaça do pneu pode suportar e/ou pela pressão máxima que pode ser aplicada ao solo sem que se ultrapasse sua pressão de pré-consolidação, de modo a evitar compactação.

Biris *et al.* (2011) afirmam que a pressão interna dos pneus tem grande importância na distribuição de tensões e influencia o tamanho da superfície de contato com a pista de rolamento. Baixas pressões levam a uma deflexão exagerada da carcaça do pneu aumentando a resistência ao rolamento. Pressões altas demais ocasionam uma diminuição da aderência dos pneus ao solo, além de desgaste irregular e mais rápido. A pressão interna dos pneus altera significativamente a forma da superfície de contato entre o pneu e o solo e assim, a distribuição das tensões no solo.

De acordo Lyasko (2010), a pressão dos pneus exerce grande influência no desempenho em tração de um trator agrícola. A redução na pressão de um pneu resulta no aumento de sua área de contato com o solo, o que eleva a capacidade de tração e reduz o potencial de compactação por ele causado.

Nos tratores agrícolas desprovidos de amortecedores nos eixos, o amortecimento é realizado pelos pneus e por conjuntos de amortecedores e molas associados ao assento do operador. Quanto maior a pressão interna do pneu menor é sua capacidade de absorção de

impactos devido ao aumento da rigidez do mesmo. A pressão do ar dentro do pneu influencia na capacidade de amortecimento do pneu, que por sua vez altera a intensidade das vibrações atuando na máquina e no operador (FURTADO, 2013). Alguns trabalhos já foram conduzidos com a finalidade de estudar o fenômeno de vibração nos tratores agrícolas, 76 considerando principalmente a pressão interna e as características de conformação dos pneus (Nguyen & Inaba, 2011; Cutini *et al.*, 2012; Villibor *et al.*, 2012).

Burt e Bailey (1982) certificaram que a eficiência de tração pode aumentar quando se relaciona a pressão de inflação com a carga nos rodados, e ainda o aumento da eficiência da tração depende das condições do solo.

O desgaste dos pneus é o resultado da ação abrasiva que a banda de rodagem sofre no seu contato com a superfície e geralmente ocorre na própria banda de rodagem, mas pode ocorrer ainda nas paredes laterais, cuja ação abrasiva se exerce nos seus flancos. Pode ocorrer ainda nas zonas dos talões, por ações de atrito entre o pneu e o aro, sendo esse desgaste decorrente do serviço que o pneu realiza, mas pode ser agravado por condições de utilização incorreta. O desgaste manifesta-se principalmente por perda da borracha que vai desaparecendo progressivamente e em algumas situações é aconselhável reparação imediata e/ou a tomada de medidas corretivas de natureza mecânica. (CAETANO, 2019).

Nos tratores agrícolas, o desgaste dos rodados pneumáticos afeta diretamente o desempenho operacional do trator (MONTEIRO *et al.*, 2011). Para exercer a tração, os pneus dos tratores apresentam banda de rodagem com garras que, em contato com o solo, aumentam a eficiência desse rodado. Segundo Magalhães *et al.* (1995), a altura de garra influencia o desempenho do rodado pneumático. Avaliando os pneus 14.9-28, com alturas de 35, 24, 16 e 00 mm, em um Argissolo, arado e gradeado com 32,95% de teor de água, concluíram que a altura de 24 mm apresentou melhor coeficiente de tração, enquanto a de 35 mm apresentou maior resistência ao rolamento.

Para Lopes (1996), à medida que aumenta a patinagem do rodado motriz existe um incremento no desgaste das garras dos pneus. Ele avaliou o desgaste máximo de pneus 14.9-26, tipo R1, em função dos índices de patinagem (45, 30 e 15%), na mesma condição de solo. O pneu ensaiado apresentou desgaste em volume (179, 86 e 64 mm³/hora), desgaste em altura (0,0187; 0,0145 e 0,0101 mm/hora) para as respectivas patinagens e vida útil estimada de 1650, 2150 e 3200 horas para as respectivas patinagens, considerando que a taxa de desgaste seria uniforme até o final da vida dos pneus.

Forastiere (2016), trabalhando com pneu 18.4 e 13.6, observou que o acréscimo da força de tração, confere um aumento da carga sobre o eixo motriz da máquina, o que pode

influenciar o desempenho do trator e, conseqüentemente, acelerar os desgastes dos pneus, em decorrência da variação nos valores de transferência de peso.

Franz (1988) avaliou o desempenho de três pneus para rodas motrizes de tratores com alturas de garras de 33, 21 e 11 mm, em um Latossolo Vermelho Escuro de textura argilosa, não-arado, e observou que o desgaste dos pneus do rodado motriz influenciou no desempenho dos tratores agrícolas. Os melhores resultados da força de tração, da razão dinâmica de tração, potência na barra, eficiência tratória e consumo específico de combustível ocorreram para a maior altura de garra (33 mm), com 30% e 20% de patinação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este tópico aborda os materiais e métodos que foram utilizados na realização dos ensaios. Serão descritas as informações referentes ao local do experimento, trator utilizado, equipamentos usados para medição de vibração, delineamento experimental, variáveis analisadas, parâmetros de vibração que serão avaliados, critério de julgamento e tomada de decisão e análise estatística dos dados.

3.1 Local do experimento

O experimento foi realizado na área experimental (Figura 7) pertencente ao Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas (LIMA), do departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, no *campus* do Pici, localizado em Fortaleza-Ceará, situado a 19 m de altitude e com coordenada geográficas 03°43'02" de latitude Sul e 38°32'35" de longitude Oeste.

Figura 7 - Área experimental utilizada nos ensaios.



Fonte: Monteiro, L.A. (2021).

A região do experimento é classificada por Koppen classificação de Köppen (1918) como Aw', caracterizada por clima tropical chuvoso, muito quente, com

preponderância de chuvas nas estações do verão, temperatura média anual de 28 °C e precipitação de 900 mm (PINTO, 2008).

O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, apresentando classe textural franco arenoso, com aproximadamente 82,90% de areia, 10,60% de argila e 6,40% de silte (MACEDO *et al.* 2016). Para a realização dos experimentos, o solo foi preparado anteriormente com duas arações e duas gradagens, sendo utilizado sistema convencional sem cobertura vegetal.

Antes de realizar as medições de vibração, foi determinada a umidade do solo, onde foram coletadas da área, aleatoriamente, 6 amostras de solo, nas profundidades de 0,0 - 20,0 cm.

O método utilizado na realização do procedimento foi o gravimétrico e seguiu as orientações da EMBRAPA (2011), encontradas no Manual de métodos de análise de solos. As amostras foram coletadas com auxílio de um trado e colocadas em lata de alumínio de massa conhecida, pesadas e transferidas para estufa a 105°C, durante 24 horas. Por fim, foram retiradas da estufa e colocadas em dessecador, para esfriar e serem pesadas (Figura 8).

Figura 8 – Método gravimétrico de umidade do solo.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Para o cálculo da umidade gravimétrica, foi usada a Equação 1.

$$Ug = \left(\frac{a-b}{b} \right) \text{ [kg.kg}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

sendo:

Ug = Umidade gravimétrica (kg.kg⁻¹)

a = massa da amostra úmida (kg)

b = massa da amostra seca (kg)

A fim de adquirir o resultado em porcentagem (%), o valor final (kg.kg^{-1}) foi multiplicado por 100. Sendo assim, os valores percentuais médios de umidade do solo no momento dos ensaios podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores percentuais de umidade do solo no momento dos ensaios.

Pneu	Diagonal Novo	Diagonal Desgastado
Umidade (%)	13,50	14,90

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.2 Trator utilizado

Foi utilizado um trator disponível na área experimental, da VALTRA (Figura 9), modelo BM 120, 4x2 TDA (tração dianteira auxiliar) de 88,3 kW (120 cv), equipado com pneus diagonais 14.9-24 R-1 no eixo dianteiro e pneus diagonais 18.4-34 R-1 10 no eixo traseiro, em rotação fixa do motor de 1860 rpm.

Figura 9 - Trator Valtra BM



120.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A adequação do trator pode ser conferida na Tabela 2, onde se encontram os valores de peso, relação peso/potência e distribuição de peso. Para isso, o trator foi pesado no

NUTEC (Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará), obtendo assim o peso dos eixos dianteiro e traseiro. O relatório do NUTEC, pode ser encontrado no ANEXO A deste trabalho e a Tabela 2 contém as especificações detalhadas. O trator estava com lastro líquido de 75% de água nos rodados.

Tabela 2 - Adequação de peso do trator Valtra BM120.

Trator	Rodado dianteiro	Rodado traseiro
Peso (kg)	2820	3520
Relação peso/potência (kg/kW)		≈ 72
Distribuição de peso (%)	≈ 45	≈ 55

Fonte: NUTEC (2017).

3.2.1 Velocidades de deslocamento

Para determinar as velocidades de deslocamento do trator, inicialmente foram escolhidas três velocidades teóricas que abrangem a maioria das atividades relacionadas ao preparo de solo, baseada na combinação de marchas disponíveis no manual do trator. Posteriormente, as velocidades reais de deslocamento do trator, foram verificadas em campo. Com uso de trena, foi determinado um espaço de 50 metros a ser percorrido pelo trator. Foi utilizada rotação fixa de 1860 rpm correspondente a 540 rpm na tomada de potência (TDP) e utilizadas as marchas de trabalho L2, L3 e L4, com o botão de multitorque na tartaruga, que proporcionariam as velocidades teóricas previamente escolhidas. O movimento do trator foi iniciado e o tempo de deslocamento para percorrer os 50 m, contabilizado com cronômetro.

As velocidades médias foram calculadas, com base na Equação 2.

$$vm = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2)$$

sendo:

vm = Velocidade Média

Δs = Intervalo do deslocamento [posição final – posição inicial ($S_{final} - S_{inicial}$)]

Δt = Intervalo de tempo [tempo final – tempo inicial ($T_{final} - T_{inicial}$)]

As velocidades reais de trabalho utilizadas foram então de $V1 = 4,2 \text{ kmh}^{-1}$ proporcionada pela marcha L2, $V2 = 6,2 \text{ km h}^{-1}$ proporcionada pela marcha L3 e $V3 = 8,6 \text{ km h}^{-1}$ proporcionada pela marcha L4.

Feita a adequação do trator foi realizado o teste de avanço a fim de verificar se a eficiência de tração nas quatro rodas estava adequada por meio da porcentagem na diferença de rotação das rodas dianteiras e traseiras. Para isso, com o trator em campo, foram feitas

marcações com giz na lateral das garras do pneu, a fim de servir como referencial para a contagem do número voltas do pneu. Em seguida foi calculado a diferença entre o número de voltas da roda dianteira sem tração e com tração para 10 voltas completas da roda traseira (Equação 3):

$$Av = \frac{V_{ct} - V_{st}}{V_{ct}} * 100 \quad (3)$$

Onde:

Av = Avanço do trator (%);

V_{ct} = Número de voltas do pneu dianteiro com a tração ligada;

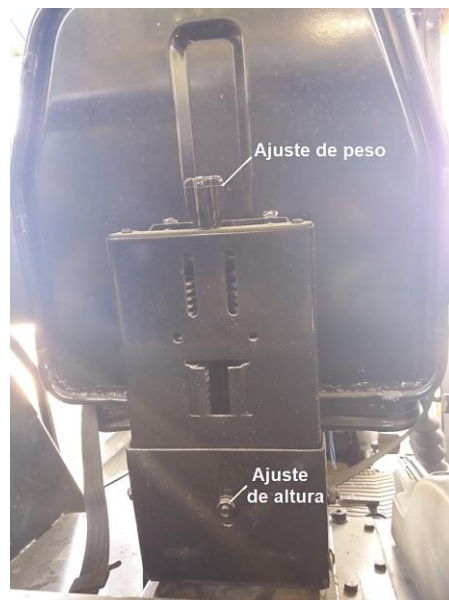
V_{st} = Número de voltas do pneu dianteiro com a tração desligada.

No teste realizado foram obtidas 13,53 voltas do rodado dianteiro com tração e 12,05 sem tração, com um avanço aceitável de 1,09 sendo os limites recomendados de avanço entre 1% e 5% (Linares et. al., 2006).

3.2.2 Assento do trator agrícola

O assento do trator (Figura 10) era original de fábrica e, antes do início do ensaio, o assento foi ajustado para a massa e altura do operador conforme as recomendações do fabricante.

Figura 10 - Assento do trator BM120.



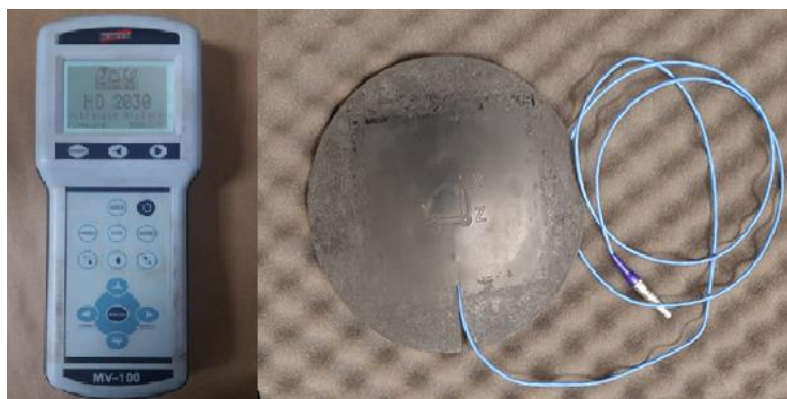
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O operador do trator possuía 1,74 m de altura e massa de 70,0 kg, valor este que se encontra na faixa entre 65 ± 5 kg, recomendada pela NBR 12319 (1992).

3.3 Equipamentos utilizados para medição de vibração

Para a realização dos ensaios de vibração ocupacional de corpo inteiro do operador foi utilizado um medidor de vibração HD 2030 da Delta OHM (Figura 11), que processa e armazena os dados obtidos através de um acelerômetro triaxial modelo 356B41 (Figura 11), que posteriormente são transferidos para um computador. As medições foram feitas segundo as três direções de um sistema de coordenadas ortogonais de forma simultânea.

Figura 11 - Medidor de vibração Delta OHM HD 2030 e acelerômetro no seatpad.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As especificações técnicas do medidor de vibração e acelerômetro utilizados, constam no ANEXO B deste trabalho.

Conforme a norma ISO 5008, o acelerômetro foi posicionado entre a máquina e o operador. O transdutor se encontra montado a uma placa de borracha, chamada de “seatpad”, e fixado com fita adesiva (Figura 12) na base do assento, de forma que não permitisse a movimentação do acelerômetro. Ainda conforme a norma, em relação a disposição e a fixação dos cabos de conexão ao medidor, estes foram dispostos, de forma a não prejudicar a movimentação ou o posicionamento do trabalhador avaliado e foram fixados a fim de evitar que os cabos sofressem movimentações ou oscilações desnecessárias que pudessem introduzir sinais indesejados durante a medição, falseando os resultados obtidos e podendo, inclusive, danificar os referidos cabos ou conexões.

Figura 12 - “Seatpad” fixado ao assento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os ensaios foram realizados de acordo com as diretrizes determinadas pela NHO -09: Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro (FUNDACENTRO, 2013) e o anexo A da norma NBR ISO 5008: Tratores agrícolas de rodas e máquinas de campo -Medição da vibração transmitida ao corpo inteiro do operador (ABNT, 2015).

Cada leitura contabilizou cerca de 180s (3 min) conforme estabelecido pela norma ISO 5008 (2015). As avaliações foram feitas em linha reta e quando necessário fazer curvas, as leituras eram paradas e só retomadas quando o trator voltasse a se deslocar em linha reta.

3.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental escolhido para a realização do experimento, foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2x3, sendo dois tipos de pneus diagonais (novo - PN e com garras desgastadas - PD) e três pressões de inflação P1, P2 e P3 respectivamente (96,5, 110,3 e 124,1 kpa para os pneus dianteiros e 110,3, 124,1 e 137,9 kpa para os traseiros), avaliadas separadamente em três velocidades distintas, com 5 repetições para cada tratamento, totalizando 18 tratamentos (Tabela 3).

As variáveis foram avaliadas em três velocidades: V1 - 4,2 km h⁻¹ (marcha L2), V2 - 6,2 km h⁻¹ (marcha L3) e V3 - 8,6 km h⁻¹ (marcha L4), sempre com o botão de multitorque no coelho. A rotação de trabalho utilizada, foi fixada em 1860 rpm.

Tabela 3 – Tratamentos realizados do experimento.

T1	PD - Ps 1 – V1	T7	PD - Ps 3 – V1	T13	PN - Ps 2 – V1
T2	PD - Ps 1 – V2	T8	PD - Ps 3 – V2	T14	PN - Ps 2 – V2
T3	PD - Ps 1 – V3	T9	PD - Ps 3 – V3	T15	PN - Ps 2 – V3
T4	PD - Ps 2 – V1	T10	PN - Ps 1 – V1	T16	PN - Ps 3 – V1
T5	PD - Ps 2 – V2	T11	PN - Ps 1 – V2	T17	PN - Ps 3 – V2
T6	PD - Ps 2 – V3	T12	PN - Ps 1 – V3	T18	PN - Ps 3 – V3

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.5 Variáveis

3.5.1 Desgaste dos pneus

Na realização do experimento foram utilizados dois conjuntos de pneus diagonais, 14.9-24 R-1 no eixo dianteiro e 18.4-34 R-1 no eixo traseiro. O conjunto de pneus novos, possuía a integridade das garras conservadas, com altura original de fábrica, sendo os rodados dianteiros do modelo TM95, fabricados pela PIRELLI®, com 6 lonas e os rodados traseiros também fabricados pela PIRELLI®, modelo VA - VANTAGE, com 10 lonas. Já o outro conjunto de pneus, possuía as garras desgastadas, devido ao uso contínuo nas operações de campo realizadas na área. Esses pneus são do modelo HI-TRACTION LUG, fabricados pela TITAN®, com 10 lonas nos rodados traseiros e 6 lonas nos rodados dianteiros.

As mensurações da altura das garras foram feitas conforme as diretrizes da norma ASAE S296.4 (1999) na qual foi utilizado um medidor de 3 pontos de apoio de acordo com a norma NBR10400. Na realização deste experimento, o instrumento utilizado foi desenvolvido por Silveira (2018), e consistia em dois pontos de apoio numa estrutura de madeira, na qual é afixado um paquímetro digital, que constituía o terceiro ponto (Figura 13). A leitura era realizada posicionado o equipamento perpendicularmente a garra, tendo como referência uma linha imaginária ao centro do pneu. Foram feitas a média de 15 leituras por pneu, a fim de garantir maior confiabilidade dos dados.

Figura 13 - Instrumento para medição das garras.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A integridade dos pneus e as características correspondente a cada um dos conjuntos de pneus, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Características dos pneus utilizados e integridade.

Pneu Diagonal	Dimensões	Diâmetro externo (mm)	Diâmetro interno (mm)	Largura (mm)	Altura da garra (mm)	Integridade do pneu (%)
Dianteiro Novo	14.9 - 24	1170	610	379	38,2	100
Traseiro Novo	18.4 - 34	1560	864	467	42,8	100
Dianteiro Desgastado	14.9 - 24	1170	610	379	19,3	50,52
Traseiro Desgastado	18.4 - 34	1560	864	467	28,5	66,58

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.5.2 Pressão de Inflação dos pneus

As pressões de inflações utilizadas foram determinadas conforme as recomendações do fabricante e de acordo com a carga incidente sobre os pneus. Foi selecionada a pressão mínima, máxima e recomenda disponível no catálogo do fabricante (Tabela 5).

Tabela 5 – Pressão interna de ar nos pneus.

Pressão	Rodado Dianteira (kpa)	Rodado Traseira (kpa)
P1 – Min.	96,5	110,3
P2 – Sug.	110,3	124,1
P3 – Max.	124,1	137,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A pressão interna de ar dos pneus foi mensurada empregando um calibrador de pneus digital (Figura 14).

Figura 14 - Aferição da pressão de inflação com calibrador.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A fim de corroborar com os resultados obtidos e considerando que a pressão de inflação tem papel fundamental na área de contato entre o pneu e a superfície (LEE e KIM, 1997), foi feito em campo, a determinação das áreas de contato obtida através da impressão dos rodados sobre o solo. Para isso o trator foi estacionado e o contorno dos pneus foi

demarcado com cal branca, delimitando a impressão do rodado sobre o solo, sendo a área interna não pigmentado pela cal, correspondente a área de contato. Em seguida o trator foi deslocado em marcha ré e a área fotografada com câmera (Figura 15).

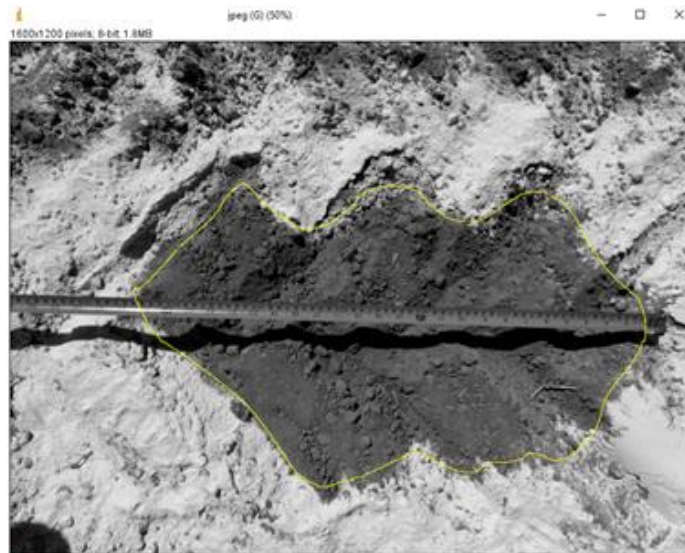
Figura 15 – Determinação da área de contatos dos pneus.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As mensurações foram realizadas em condições estáticas, com os pneus sobre o solo sem desenvolver nenhum movimento. As imagens adquiridas foram analisadas utilizando o software ImageJ (Figura 16), onde foi feita a correlação da escala em tamanho real e determinadas as áreas de contato (Tabela 6).

Figura 16 – Interface do programa ImageJ.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 6 - Áreas de contatos dos rodados utilizados.

DIAGONAL DESGASTADO		DIAGONAL NOVO
Pressão (kpa)	Área de contato média do Eixo Dianteiro (m ²)	
96,5	0,163	0,432
110,3	0,126	0,228
124,1	0,077	0,371
Pressão (kpa)	Área de contato média no Eixo Traseiro (m ²)	
110,3	0,143	0,264
124,1	0,120	0,257
137,9	0,113	0,223

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

3.6 Parâmetros de vibração avaliados

Durante a realização do experimento, foram avaliados os seguintes parâmetros de vibração de corpo inteiro:

Aceleração média nos eixos ortogonais X, Y e Z: 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 (FUNDACENTRO, 2013).

Pico máximo nos eixos ortogonais X, Y e Z: Indica o valor mais alto da aceleração durante a medição na direção do eixo x, y ou z (FUNDACENTRO, 2013).

Fator de crista (FC) nos eixos ortogonais X, Y e Z: módulo da razão entre o máximo valor de pico e o valor de aceleração média, ambas ponderadas em frequência (FUNDACENTRO, 2013).

Aceleração resultante de exposição normalizada (aren): corresponde à aceleração resultante de exposição (are) convertida para uma jornada diária padrão de 8 horas (FUNDACENTRO, 2013).

Valor de dose de vibração resultante (VDVR): corresponde ao valor da dose de vibração representativo da exposição ocupacional diária, considerando a resultante dos três eixos de medição (FUNDACENTRO, 2013).

Conforme a norma NHO-09 considera-se que o operador trabalhou em uma jornada de 8 horas diárias, para fins de cálculos (FUNDACENTRO, 2013).

3.6.1 Critério de julgamento e tomada de decisão

A Norma de Higiene Ocupacional, aponta que o limite de exposição representa as condições sob as quais se acredita que grande parte dos trabalhadores possam estar expostos constantemente sem sofrer efeitos negativos que possam resultar em dano à sua saúde

(FUNDACENTRO, 2013). O limite adotado na norma corresponde a um valor da aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*) de $1,1 \text{ m/s}^2$ e ao valor da dose de vibração resultante (VDVR) de $21 \text{ m/s}^{1,75}$ (Quadro 1). Para comparação do limite de exposição ou nível de ação (valor acima do qual devem ser adotadas medidas preventivas), é recomendado determinar a aceleração resultante a exposição normalizada (*aren*) e o valor da dose de vibração resultante (VDVR).

Quadro 1 - Critério de julgamento e tomada de decisão segundo a NHO-09.

<i>aren</i> (m/s^2)	VDVR ($\text{m/s}^{1,75}$)	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 (2013)

É importante destacar que a caracterização de atividades insalubres só acontecem quando os níveis de vibração se encontram acima do limite de exposição (acima de 1,1), onde grande parte dos trabalhadores podem apresentar efeitos negativos na saúde, mas já é possível constatar problemas de cognição, percepção, fadiga, entre outros sintomas, já nos níveis abaixo do limite de exposição.

A Norma Regulamentadora 15 que trata de Operações Insalubres, do Ministério do Trabalho brasileiro, caracteriza como insalubres as atividades que expõem os trabalhadores à vibração de corpo inteiro, sem o devido uso de equipamento de proteção. O anexo 08 da NR-15 faz menção à necessidade de medição da exposição às vibrações nos trabalhadores e indica a norma internacional ISO 2631-1 como critério de medição de vibração de corpo inteiro. O quadro 2, relaciona o valor total ponderado da aceleração (rms) com o conforto oferecido aos indivíduos quando expostos a vibração, de acordo com a norma.

Quadro 2 - Aceleração RMS em relação ao conforto.

<i>Aceleração RMS</i>	<i>Classificação</i>
< 0,315 m/s ²	Confortável
0,315 a 0,63 m/s ²	Um pouco desconfortável
0,8 a 1,6 m/s ²	Desconfortável
1,25 a 2,5 m/s ²	Muito desconfortável
> 2,0 m/s ²	Extremamente desconfortável

Fonte: ISO 2631-1 (1997)

3.6.2 Medidas preventivas e corretivas segundo a NHO-09

As situações de exposição ocupacional de vibração, superiores ao nível de ação implicam na adoção obrigatória de medidas de caráter preventivo, enquanto em condições de exposição ocupacional superiores ao limite de exposição, sugerem a obrigatória adoção de medidas corretivas.

A medidas preventivas, buscam minimizar à probabilidade de que as exposições à vibração causem prejuízos ao trabalhador e impedir que o limite de exposição seja excedido. Já as medidas corretivas, objetivam a redução dos níveis de exposição a vibrações, com base nas recomendações estabelecidas pela norma (NHO-09). O quadro 3, apresenta alguns exemplos dessas medidas:

Quadro 3 - Medidas preventivas e corretivas, com base na NHO-09.

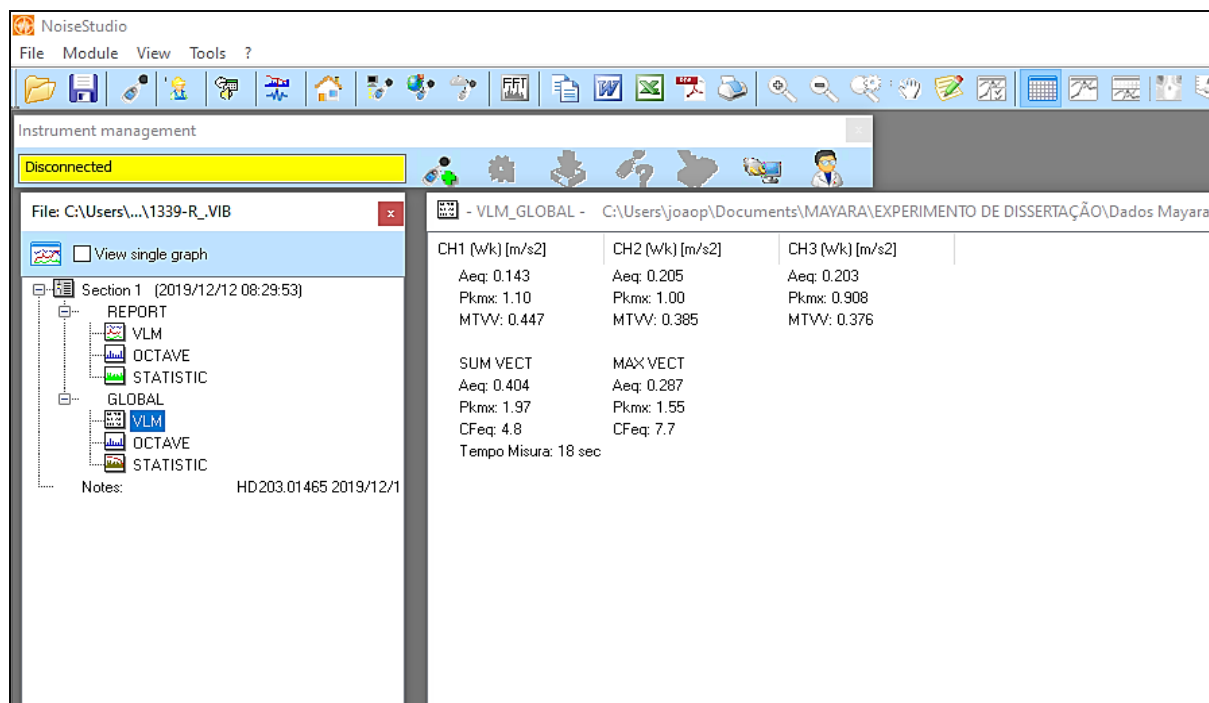
Medidas Preventivas	Medidas Corretivas
Monitoramento periódico da exposição; Informação e orientação aos trabalhadores; Controle médico.	Redução do tempo de exposição diária; Manutenção de veículos e máquinas; Alternância de atividades com maior e menor exposição; Reprojeto de plataformas de trabalho; Adoção de assentos antivibratórios; Melhoria das condições dos pisos e pavimentos.

Fonte: Adaptado da NHO-09 (2013).

3.7 Análise estatística dos dados

Os dados de vibração, coletados durante os ensaios, foram processados pelo software Noise Studio® 6.95 (Figura 17) e em seguida foram tabulados em planilha no software Excel para realização dos cálculos de Aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*) e Valor da dose de vibração resultante (VDVR).

Figura 17 - Interface do software Noise Studio® 6.95.



Fonte: Noise Studio (2021).

Para a realização do procedimento estatístico foi utilizado o programa computacional ASSISTAT versão 7. beta, que fornece o teste de normalidade de Anderson-Darling (ANDERSON; DARLING, 1954). Os dados foram submetidos a esse teste de normalidade e as hipóteses para o teste Anderson-Darling são:

- H_0 : Os dados seguem uma distribuição específica
- H_1 : Os dados não seguem uma distribuição específica

Confirmada normalidade, os dados foram analisados por meio de Análise de Variância (ANOVA) que é um teste estatístico em que se deseja testar se $K \geq 2$ médias são iguais ou não, ou seja se as médias analisadas naquele tratamento são todas iguais ou se pelo menos uma média difere estatisticamente:

- H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$
- H_1 : $\mu_i \neq \mu_j$ ($i \neq j, i, j = 1, \dots, k$)

Dentro da ANOVA, também foi avaliada a estatística do teste F, onde o valor de F calculado, será tanto maior quanto forem as diferenças entre as médias das amostras analisadas. Se F calculado for inferior ao F crítico ao nível de significância estabelecido, não rejeitamos H_0 , ou seja, as médias das amostras não diferem significativamente. Se F calculado for superior ao F crítico ao nível de significância estabelecido, rejeitamos H_0 , ou seja, as médias das amostras diferem significativamente (FÁVERO, 2017).

Após dados serem analisados por meio de Análise de Variância pelo teste F, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância. O teste Tukey classifica as médias em grupos de mesmo tamanho de acordo com a homogeneidade das variâncias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo estão descritos os tópicos contendo os resultados obtidos e a respectiva discussão para cada parâmetro avaliado.

4.1 Aceleração média nos eixos X, Y, Z e Resultante

A tabela 7 e as figuras 18, 19 e 20 apresentam os valores médios obtidos para a aceleração média nos eixos X, Y, Z e resultante nas três velocidades de deslocamento.

Tabela 7 - Valores médios de aceleração média ($m.s^{-2}$) nos eixos X, Y, Z e resultante, Teste F e Teste de Normalidade de Anderson-Darling.

Velocidade de 4,2 Km h ⁻¹				
Fontes de Variação	Aceleração média no eixo X ($m.s^{-2}$)	Aceleração média no eixo Y ($m.s^{-2}$)	Aceleração média no eixo Z ($m.s^{-2}$)	Aceleração média resultante ($m.s^{-2}$)
PD - P1	0,140 ab	0,261 ab	0,315 a	0,529 ab
PD - P2	0,158 ab	0,278 a	0,323 a	0,539 a
PD - P3	0,176 a	0,279 a	0,325 a	0,553 a
PN - P1	0,131 b	0,219 c	0,241 b	0,445 c
PN - P2	0,143 b	0,232 bc	0,230 b	0,461 c
PN - P3	0,156 ab	0,244 bc	0,253 b	0,479 bc
Teste F				
Tratamentos (F)	5,4774**	11,2882**	39,5183**	13,7218**
F-crit.	3,8951	3,8951	3,8951	3,8951
CV (%)	9,42	6,53	5,59	5,43
DMS	0,02819	0,03215	0,03069	0,05322
Teste de Normalidade de Anderson-Darling				
Valor obtido	0,33680	0,29420	0,62933	0,29453
V crit.	0,71186	0,71186	0,71186	0,71186
Normal	Sim	Sim	Sim	Sim
Velocidade de 6,2 km h ⁻¹				
Fontes de Variação	Aceleração média no eixo X ($m.s^{-2}$)	Aceleração média no eixo Y ($m.s^{-2}$)	Aceleração média no eixo Z ($m.s^{-2}$)	Aceleração média resultante ($m.s^{-2}$)
PD - P1	0,257 b	0,420 b	0,340 ab	0,738 b
PD - P2	0,317 a	0,413 bc	0,348 a	0,816 a
PD - P3	0,304 a	0,471 a	0,350 a	0,856 a
PN - P1	0,197 c	0,373 c	0,286 c	0,671 b
PN - P2	0,209 c	0,383 bc	0,315 bc	0,692 b
PN - P3	0,211 c	0,375 bc	0,325 ab	0,679 b
Teste F				
Tratamentos (F)	44,2295**	12,3566**	7,5094**	19,6556**
F-crit.	3,8951	3,8951	3,8951	3,8951
CV (%)	7,02	5,89	5,66	5,26
DMS	0,03420	0,04670	0,03567	0,07630
Teste de Normalidade de Anderson-Darling				
Valor obtido	0,16537	0,36867	0,35321	0,64350

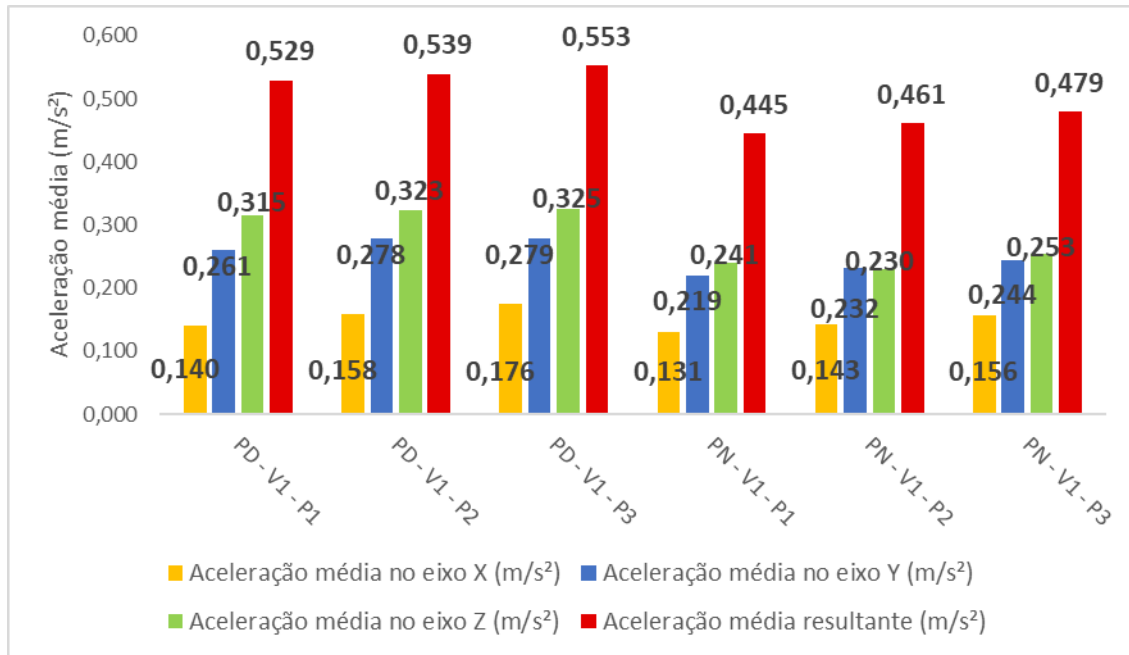
Continuação... Tabela 7 - Valores médios de aceleração média ($m.s^{-2}$) nos eixos X, Y, Z e resultante, Teste F e Teste de Normalidade de Anderson-Darling.

V crit.	0,71186	0,71186	0,71186	0,71186
Normal	Sim	Sim	Sim	Sim
Velocidade de 8,6 km h ⁻¹				
Fontes de Variação	Aceleração média no eixo X ($m.s^{-2}$)	Aceleração média no eixo Y ($m.s^{-2}$)	Aceleração média no eixo Z ($m.s^{-2}$)	Aceleração média resultante ($m.s^{-2}$)
PD - P1	0,472 bc	0,525 b	0,610 a	1,132 ab
PD - P2	0,565 ab	0,564 ab	0,608 a	1,222 a
PD - P3	0,661 a	0,598 a	0,668 a	1,218 a
PN - P1	0,322 d	0,446 c	0,443 b	0,972 c
PN - P2	0,345 d	0,527 b	0,461 b	0,991 c
PN - P3	0,415 cd	0,528 b	0,485 b	1,046 bc
Teste F				
Tratamentos (F)	29,6897**	3,7557*	23,5210**	14,9704**
F-crit.	3,8951	2,6207	3,8951	3,8951
CV (%)	11,59	5,53	7,97	5,82
DMS	0,10492	0,05988	0,08496	0,12481
Teste de Normalidade de Anderson-Darling				
Valor obtido	0,23809	0,15639	0,68904	0,26532
V crit.	0,71186	0,71186	0,71186	0,71186
Normal	Sim	Sim	Sim	Sim

Legenda: Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro. Fonte: Elaborada pela Autora (2021).

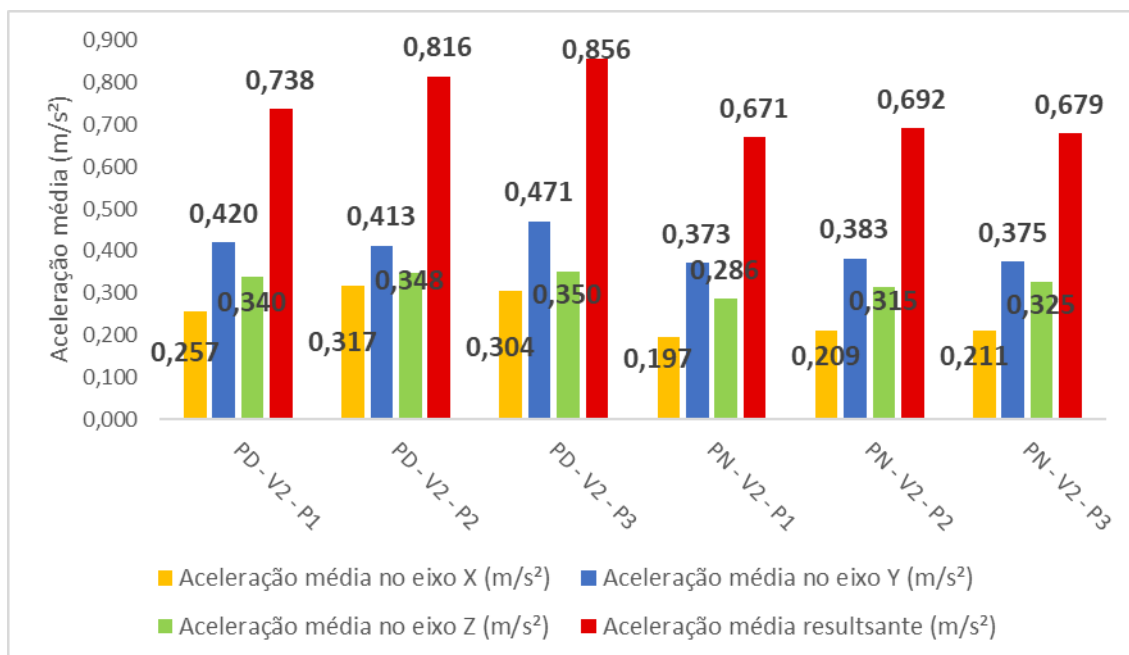
Figura 18 - Aceleração média ($m.s^{-2}$) nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 4,2 $km\ h^{-1}$.



Legenda: PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. V1: 4,2 $km.h^{-1}$. V2: 6,2 $km.h^{-1}$. V3: 8,6 $km.h^{-1}$. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

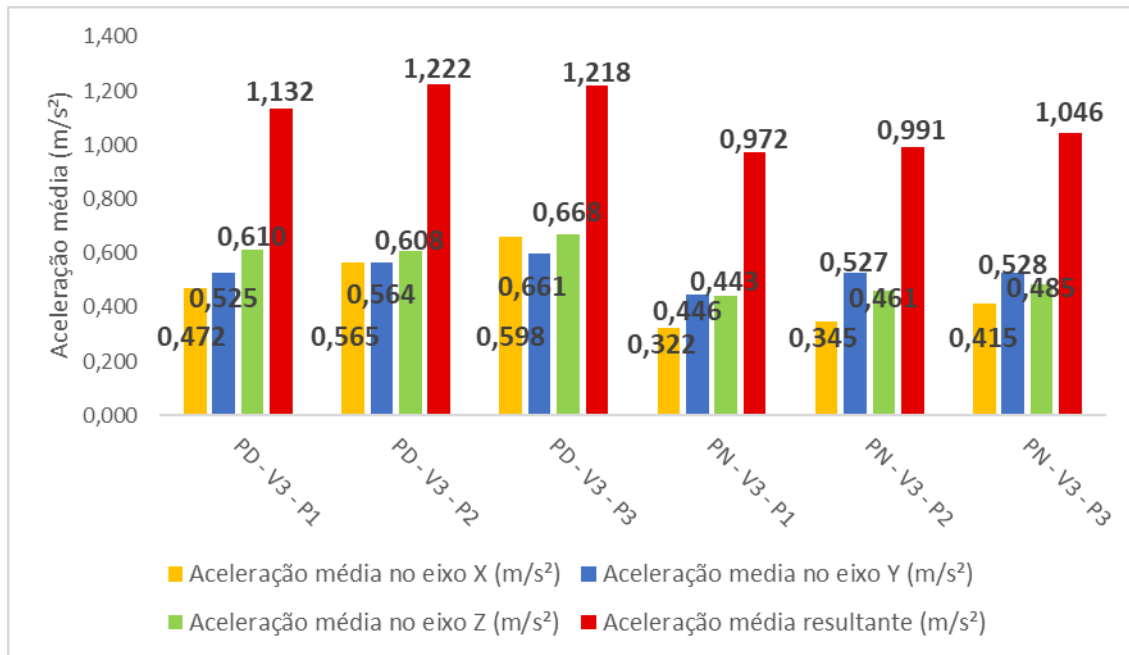
Figura 19 - Aceleração média ($m.s^{-2}$) nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 6,2 $km\ h^{-1}$.



Legenda: PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. V1: 4,2 $km.h^{-1}$. V2: 6,2 $km.h^{-1}$. V3: 8,6 $km.h^{-1}$. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 20 - Aceleração média ($m.s^{-2}$) nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 8,6 $km h^{-1}$.



Legenda: PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. V1: 4,2 $km.h^{-1}$. V2: 6,2 $km.h^{-1}$. V3: 8,6 $km.h^{-1}$. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

De acordo com a Tabela 7 e as Figuras 28, 29 e 30 é possível observar que para as três velocidades houve diferenças significativas na aceleração média para os três eixos de acordo com o teste F. Os valores de aceleração média podem ser considerados as medidas mais importantes de amplitude, pois consideram não só a cronologia da onda, mas também o valor da amplitude da aceleração que está diretamente ligada à energia contida na mesma, indicando assim, o poder destrutivo da vibração (REGAZZI; XIMENES, 2003).

Segundo a norma ISO 2631 (1997) valores de aceleração média nos eixos X, Y e Z menores que $0,315 m.s^{-2}$ apresentam uma condição confortável de trabalho ao operador e entre $0,315 m.s^{-2}$ a $0,63 m.s^{-2}$ a condição é considerada pouco desconfortável.

Considerando a norma ISO 2631 (1997), na velocidade mais baixa de 4,2 $Km h^{-1}$ (V1), os valores de aceleração nos eixos X, Y apresentaram condição confortável de trabalho e no eixo Z, somente os tratamentos com pneu desgastado apresentaram condição desconfortável de trabalho. Para a velocidade de 6,2 $km h^{-1}$ (V2), somente o eixo X e o tratamento com pneu novo na pressão de 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo

traseiro, apresentaram valores abaixo do recomendado. E para a velocidade de 8,6 km h⁻¹ (V3), nenhum dos eixos apresentaram valores abaixo de 0,315 m.s⁻², podendo ser considerada segundo a norma, condição de trabalho pouco confortável. Com isso, percebe-se que a medida em que se aumenta a velocidade de trabalho o nível de conforto do operador diminui.

Segundo Kroemer e Grandjean (2005), a eficiência na direção é prejudicada por vibrações na faixa de 4 Hz, onde os efeitos negativos crescem a medida em que há aumento da aceleração, sendo que os erros de direção aumentaram quando o operador está sujeito a acelerações na ordem de 0,5 m.s⁻², tornando impossível operar o trator com segurança quando as acelerações atingem 2,5 m.s⁻². Kumar *et al.* (2001) apontam que experimentos de vibração realizados com implementos acoplados ao trator, durante operações agrícolas tendem a apresentar valores ainda menores visto que esses implementos agem como atenuadores da vibração.

Analisando 4,2 Km h⁻¹, observa-se que os maiores valores de aceleração média ocorreram no eixo Z, para 6,2 Km h⁻¹ se deram no eixo Y e para 8,6 km h⁻¹, os maiores valores de aceleração média se deram também no eixo Y para os tratamentos com pneu novo.

É notório então que em velocidades mais baixa as maiores magnitudes de vibração se concentraram no eixo Z e a medida em que ocorre um aumento da velocidade a vibração ocorre maiores intensidades nos eixos Z e Y. Scarlett *et al.* (2007), conferem os maiores valores de acelerações no eixo Y a menor capacidade dos assentos de tratores agrícolas atenuarem as vibrações neste sentido, considerando ainda que a intensidade das vibrações depende do tipo de operação realizada.

Vale destacar, que enquanto em veículos rodoviários os operadores são expostos predominantemente a acelerações que ocorrem no eixo z (verticais), em tratores agrícolas, a exposição apresenta dominância de exposição nos três eixos de aceleração (x, y e z), sendo necessário avaliar o comportamento das vibrações nessas três direções (JOHNSON *et al.*, 2015). Contudo, Tosin (2009) confirmou que, em baixas frequências, a sensibilidade do corpo humano é maior para as vibrações transversais (eixos x e y) do que para as longitudinais (eixo z), sendo importante avaliá-las cuidadosamente para que medidas mais eficazes sejam tomadas a fim de proteger o trabalhador.

Verifica-se conforme a tabela 7, que nas três velocidades, os menores valores de aceleração média para vibração de corpo inteiro nos eixos X, Y, Z e para a aceleração resultante, ocorreram nos tratamentos com pneu novo, já os maiores valores foram observados

nos tratamentos com pneu desgastado. Uma provável explicação para isso, se deve ao pneu novo apresentar maior área de contato se comparado ao pneu desgastado, absorvendo e amortecendo mais os impactos da superfície de rolamento. É possível constatar isso nos valores contidos na Tabela 6, que apresenta a área de contato (m^2) dos pneus utilizados no experimento.

Cutini *et al.* (2012) demonstraram que a excentricidade dos pneus também pode afetar os níveis vibracionais que atingem o operador, sendo recomendado que, para avaliar o conforto do operador durante desempenho de operações de transporte em superfícies de estrada asfaltada, é muito importante considerar a condição de excentricidade dos pneus. A excentricidade acontece exatamente quando um pneu em andamento, não está concêntrico, as causas disso são aro empenado ou desgaste irregular dos pneus (SCANIA, 2012). Sendo assim, o próprio desgaste das garras do pneu, constatado no experimento, pode afetar diretamente a vibração transmitida ao operador.

Lanças (1997) já apontava que o tipo do rodado, as forças que incidem sobre este componente, as deformações que o pneu sofre, as interações existentes entre o solo e o rodado, e as condições do solo, determinam o comportamento do pneu sobre a superfície em que está se deslocando, possibilitando maior ou menor capacidade de amortecimento dos impactos e de trabalho.

De acordo com a tabela 7, é possível verificar que a medida em que há um aumento na pressão de inflação dos pneus, há também um incremento na intensidade da aceleração média e resultante das vibrações, ou seja é possível verificar efeito significativo da pressão interna dos pneus sobre a vibração vertical, longitudinal e transversal. Os fatores avaliados com pneus desgastados em combinação com as maiores pressões, apresentaram maiores valores de aceleração média. Isso pode ser explicado, pois o aumento da pressão interna reduz a área de contato do pneu com o solo, ocasionando tracionamento deficiente de implementos, além de elevar o consumo de combustível e causar o desgaste irregular dos pneus (SANTOS, 2016).

Vale ressaltar, que o comportamento vibracional de um pneu depende das condições do terreno e das condições de operação as quais ele se submete (SCAVUZZO; RICHARDS; CHAREK, 1993 apud MARSHALL, 2006). Essas condições dizem respeito à disposição da estrutura (em contato com o solo ou não), à pressão de inflação e à velocidade. Testes conduzidos por Scavuzzo, Richards e Charek (1993 apud MARSHALL, 2006) mostraram que um aumento na pressão interna do pneu geralmente eleva suas frequências de

ressonância de vibração. Hilbert *et al.* (2004) concluíram, por meio de ensaio com diferentes pressões internas dos pneus em pista indeformável, que as pressões de inflação influenciaram diretamente os níveis de vibração que incidiram sobre o operador.

É possível observar também, que os maiores valores de aceleração média foram encontrados na velocidade mais alta deslocamento, corroborando com outros estudos que já mostram que um dos principais fatores que influencia na magnitude das vibrações em tratores agrícolas é a velocidade.

Sandi *et al.* (2018) ponderam que menores velocidades proporcionem menor energia inercial e maior estabilidade ao trator durante seu trajeto, garantindo assim, maior acomodação dos pneus com o terreno a fim de absorver de forma mais eficiente as imperfeições existentes, diminuindo dessa forma, a energia e intensidade das vibrações que chegam até o operador da máquina.

Lanças *et al.* (2009), ao avaliarem a vibração sob influência da variação da potência do trator, da superfície de deslocamento, da pressão interna dos pneus e da velocidade média de trabalho e concluíram que a velocidade de deslocamento foi a variável que mais influenciou na vibração. Zehsaz *et al.* (2011) também perceberam correlação entre o acréscimo da velocidade de deslocamento e a elevação dos valores vibracionais. Roth (2010), ao estudar as vibrações influentes no assento-operador de trator agrícola em diferentes tipos de terreno, concluiu que o aumento nos valores de aceleração média também ocorreu devido ao incremento da velocidade.

Diante dos dados obtidos nesse experimento, onde o conjunto de pneus desgastados apresentou maiores índices de vibração, fica ainda mais claro a importância de se atentar ao momento certo de troca dos pneus, pensando não só ergonomicamente, mas no desempenho operacional da máquina. O produtor pode estar constantemente fazendo uma verificação visual, observando se as garras já estão desgastadas, identificando como a máquina se comporta durante a operação. Segundo SENAR (2017), quando o desgaste das garras for maior que $\frac{3}{4}$, em comparação ao pneu novo, é importante que seja realizada a troca do pneu.

4.2 Pico Máximo de aceleração nos eixos X, Y, Z e Resultante.

A tabela 8 e as figuras 21, 22 e 23 apresentam os valores médios de pico máximo de aceleração nos eixos X, Y e Z e Resultante.

Tabela 8 – Valores de pico máximo de aceleração (m.s^{-2}) nos eixos X, Y, Z e resultante, Teste F e Teste de Normalidade de Anderson-Darling.

Velocidade de 4,2 km h ⁻¹				
Fontes de Variação	Pico máximo de aceleração no eixo X (m.s^{-2})	Pico máximo de aceleração no eixo Y (m.s^{-2})	Pico máximo de aceleração no eixo Z (m.s^{-2})	Pico máximo de aceleração resultante (m.s^{-2})
PD - P1	1,422 a	1,746 a	1,422 a	0,945 d
PD - P2	1,053 a	1,326 a	1,270 a	1,220 c
PD - P3	1,304 a	1,376 a	1,448 a	2,060 a
PN - P1	1,035 a	1,550 a	1,374 b	0,705 d
PN - P2	0,804 a	1,216 a	1,370 b	1,210 c
PN - P3	1,072 a	1,296 a	1,452 b	2,318 a
Teste F				
Tratamentos (F)	2,0244 ^{ns}	1,8735 ^{ns}	0,3972 ^{ns}	87,1215**
F-crit.	2,6207	2,6207	0,159	3,8951
CV (%)	3,83	22,51	17,41	10,41
DMS	0,67182	0,62388	0,47270	0,29669
Teste de Normalidade de Anderson-Darling				
Valor obtido	0,66432	0,19239	0,25908	0,62219
V crit.	0,71186	0,71186	0,71186	0,71186
Normal	Sim	Sim	Sim	Sim
Velocidade de 6,2 km h ⁻¹				
Fontes de Variação	Pico máximo de aceleração no eixo X (m.s^{-2})	Pico máximo de aceleração no eixo Y (m.s^{-2})	Pico máximo de aceleração no eixo Z (m.s^{-2})	Pico máximo de aceleração resultante (m.s^{-2})
PD - P1	1,616 ab	2,648 a	1,924 a	4,650 a
PD - P2	2,092 a	2,504 a	1,688 a	4,060 a
PD - P3	2,148 a	2,910 a	2,114 a	4,792 a
PN - P1	1,218 b	2,202 a	1,634 a	3,676 a
PN - P2	1,600 ab	2,246 a	1,578 a	3,470 a
PN - P3	1,746 ab	2,538 a	2,266 a	4,670 a
Teste F				
Tratamentos (F)	4,6216**	1,3022 ^{ns}	1,8678 ^{ns}	3,0243*
F-crit.	3,8951	2,6207	2,6207	2,6207
CV (%)	20,71	20,51	24,57	17,23
DMS	0,70287	1,00504	0,89679	1,42088
Teste de Normalidade de Anderson-Darling				
Valor obtido	0,35328	0,64498	0,43966	0,57926
V crit.	0,71186	0,71186	0,71186	0,71186
Normal	Sim	Sim	Sim	Sim
Velocidade de 8,6 km h ⁻¹				
Fontes de Variação	Pico máximo de aceleração no eixo X (m.s^{-2})	Pico máximo de aceleração no eixo Y (m.s^{-2})	Pico máximo de aceleração no eixo Z (m.s^{-2})	Pico máximo de aceleração resultante (m.s^{-2})

Continuação... Tabela 8 – Valores de pico máximo de aceleração ($m.s^{-2}$) nos eixos X, Y, Z e resultante, Teste F e Teste de Normalidade de Anderson-Darling.

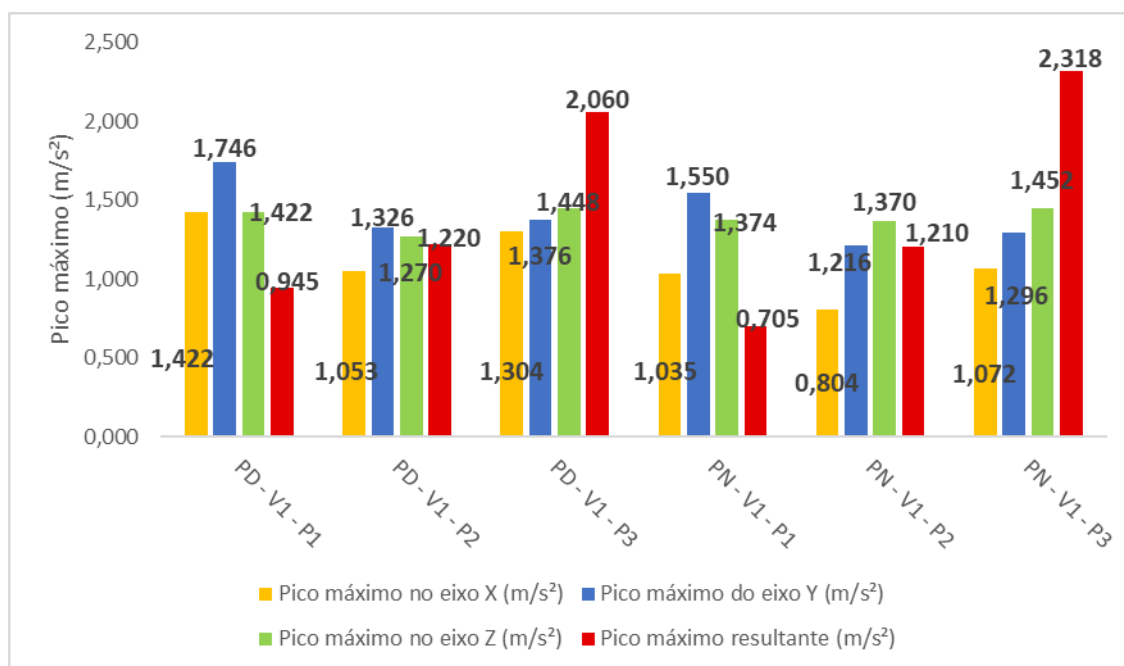
PD - P1	3,000 abc	3,350 ab	4,744 a	6,802 ab
PD - P2	3,010 ab	3,754 ab	3,252 ab	6,550 ab
PD - P3	3,762 a	4,458 a	4,258 ab	9,012 a
PN - P1	2,034 c	2,888 b	2,542 b	5,704 b
PN - P2	2,258 bc	3,058 b	2,802 b	4,978 b
PN - P3	2,330 bc	3,480 ab	3,092 ab	5,528 b
Teste F				
Tratamentos (F)	8,4479**	3,0918*	3,9844**	5,9831**
F-crit.	3,8951	2,6207	3,8951	3,8951
CV (%)	18,18	20,40	28,09	20,38
DMS	0,97055	1,39489	1,89318	2,56026
Teste de Normalidade de Anderson-Darling				
Valor obtido	0,54244	0,14152	0,53387	0,63394
V crit.	0,71186	0,71186	0,71186	0,71186
Normal	Sim	Sim	Sim	Sim

Legenda: Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro.

Fonte: Elaborada pela Autora (2021).

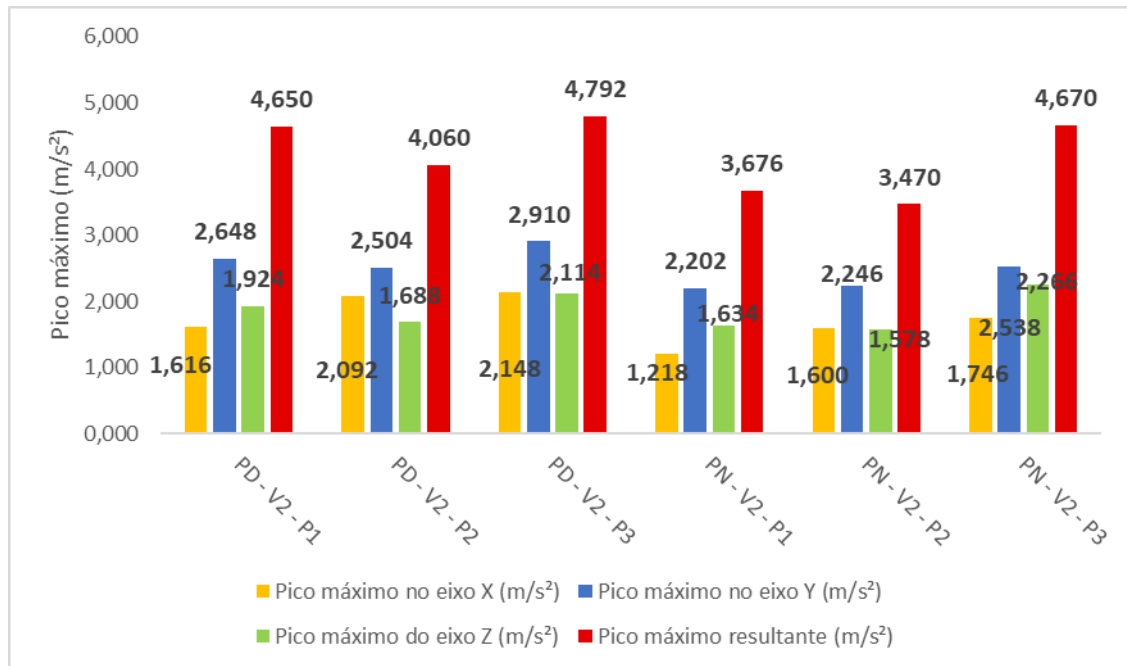
Figura 21 - Pico máximo nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 4,2 km h⁻¹.



Legenda: PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. V1: 4,2 km.h⁻¹. V2: 6,2 km.h⁻¹. V3: 8,6 km.h⁻¹. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

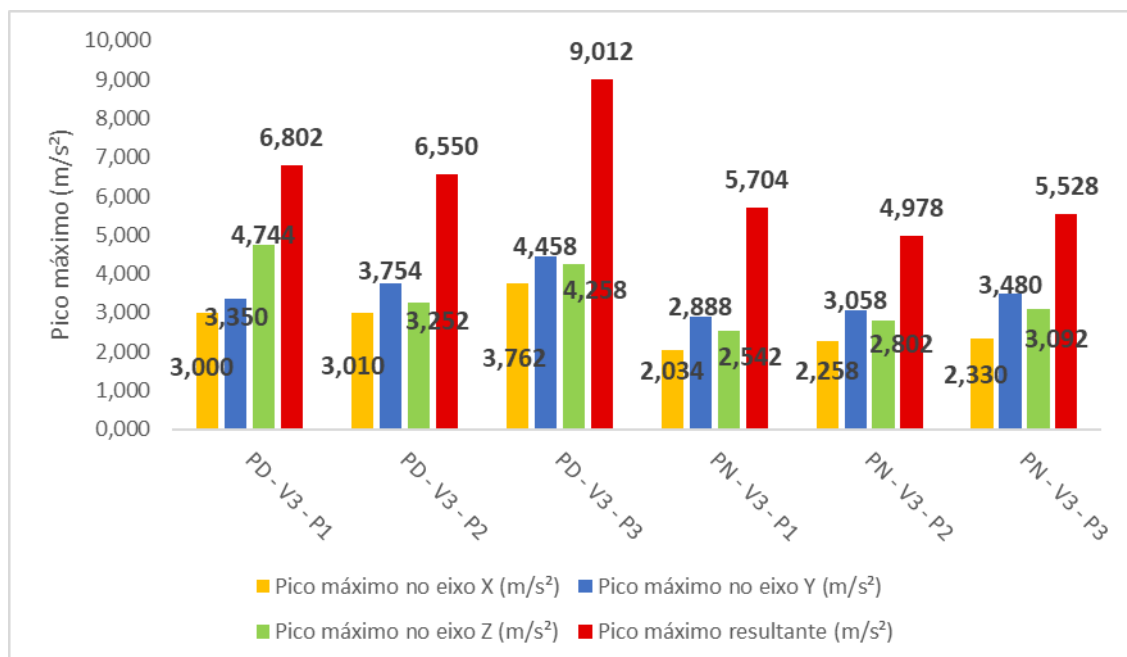
Figura 22 - Pico máximo nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 6,2 km h⁻¹.



Legenda: PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. V1: 4,2 km.h⁻¹. V2: 6,2 km.h⁻¹. V3: 8,6 km.h⁻¹. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 23 - Pico máximo nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 8,6 km h⁻¹.



Legenda: PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. V1: 4,2 km.h⁻¹. V2: 6,2 km.h⁻¹. V3: 8,6 km.h⁻¹. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O pico máximo é a máxima amplitude de aceleração medida em certo período podendo ser um indicador de impacto de curta duração para casos em que se tenha vibração ocupacional de corpo inteiro. Solecki (2007) afirma que os valores de pico de aceleração de vibração indicam que ocorre uma grande variação nos valores vibração ao longo da operação realizada em relação aos valores de aceleração média e que esses valores de pico elevados ocorrem principalmente devido a choques mecânicos induzidos ao assento do operador.

Ribas *et al.* (2014) trabalhando realizando a operação de semeadura obtiveram valores de pico máximo nos eixos X, Y e Z entre $14,4 \text{ m.s}^{-2}$ a $20,79 \text{ m.s}^{-2}$. Os valores encontrados no experimento ficaram bem abaixo destes, entre $0,945 \text{ m.s}^{-2}$ e $9,012 \text{ m.s}^{-2}$. Pinho *et al.* (2014) aponta que os valores de pico podem sofrer grandes variações, sendo atenuados ou amplificados, entre outros fatores, quando se trabalha com o conjunto trator-equipamento, pois a junção máquina e equipamento agrícola forma um sistema único.

De acordo com a Tabela 8, é possível observar que para a velocidade mais baixa, de $4,2 \text{ Km h}^{-1}$ (V1) os eixos X, Y e Z, não diferiram estatisticamente para o pico máximo. Ou seja, em menores velocidades, o desgaste das garras e a pressão interna de ar nos pneus, não influenciou nos valores de pico.

Já para o pico máximo de aceleração resultante, que indica o valor mais alto da aceleração durante a medição resultante dos eixos X, Y ou Z, houve diferença significativa pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade, onde os maiores valores de pico máximo foram encontrados nos tratamentos com pressão mais elevada (P3).

Para a velocidade de $6,2 \text{ km.h}^{-1}$ (V2), os valores de pico máximo de aceleração apresentaram diferenças significativas apenas para o eixo X (frente/atrás). Nesse eixo, os maiores valores de pico máximo se encontraram nos tratamentos com pneu desgastado, em combinação com a maior pressão de $124,1 \text{ kpa}$ no eixo dianteiro e $137,9 \text{ kpa}$ no eixo traseiro (P3). Nos tratamentos com pneu novo, a combinação com a maior pressão também apresentou valor mais elevado de pico máximo e esses vão sendo reduzidos a medida em que se diminui a pressão de inflação. Percebe-se que pressões mais altas tendem a apresentar maiores valores de vibração, um dos fatores que corrobora para isso é o fato de apresentarem menor área de contato, com isso absorvem e amortecem menos impactos.

Analisando a velocidade de $8,6 \text{ km h}^{-1}$, observa-se que a mesma apresentou diferenças significativas em todos os fatores avaliados para os três eixos. Identifica-se novamente comportamento semelhante a $6,2 \text{ Km h}^{-1}$, em que os maiores valores de pico máximo se deram nos tratamentos com pneu desgastado. Nessas condições os maiores valores

de pico se concentraram no eixo Y. Um dos fatores que pode influenciar, é fato do cinto de segurança do trator ser do tipo abdominal, de dois pontos, mantendo o corpo do operador firme ao assento, mas o tronco solto, aumentando a exposição a vibrações nos eixos X e Y.

Para Lopes (2012) uma forma de diminuir os efeitos dos choques mecânicos que são propagados ao assento é através do uso do cinto de segurança, que permite uma melhor fixação do operador ao assento e com isso, reduz a projeção do operador para fora do assento.

Segundo Solecki (2007) a análise dos valores de pico mínimo e máximo de aceleração de vibração confirma que ocorre uma grande variação nos valores de vibração ao longo das operações agrícolas realizadas, esses valores de pico elevados ocorrem devido a choques mecânicos induzidos ao assento do operador durante a operação agrícola.

Constatou-se que os maiores valores de picos de aceleração ocorreram na maior velocidade de 8,6 km h⁻¹ (V3) em todas as combinações de pressão, evidenciando que o aumento da velocidade foi responsável pelos maiores picos devido à amplificação das irregularidades do solo pelos pneus devido a maior energia existente nestas condições de deslocamento. Barbosa *et al.* (2005), aponta que os pneus absorvem a maior parte das vibrações de alta frequência na interface com o solo e as vibrações de baixa frequência são transmitidas através da estrutura do trator até o operador.

4.3 Fator de Crista nos eixos X, Y, Z e Resultante.

A tabela 9 e as figuras 24, 25 e 26 apresentam os valores médios de fator de crista nos eixos X, Y, Z e Resultante.

Tabela 9 – Valores de fator de crista (m.s⁻²) nos eixos X, Y, Z e resultante, Teste F e Teste de Normalidade de Anderson-Darling.

Fontes de Variação	Velocidade de 4,2 km h ⁻¹			
	Fator de crista no eixo X (m.s ⁻²)	Fator de crista no eixo Y (m.s ⁻²)	Fator de crista no eixo Z (m.s ⁻²)	Fator de crista resultante (m.s ⁻²)
PD - P1	8,102 a	5,636 b	5,732 ab	5,740 ab
PD - P2	7,395 a	5,713 b	5,484 ab	5,300 ab
PD - P3	8,250 a	7,990 a	5,930 a	6,500 a
PN - P1	6,433 a	4,371 b	4,337 b	3,940 b
PN - P2	6,134 a	4,654 b	4,230 b	4,460 ab
PN - P3	6,697 a	5,875 ab	4,503 ab	5,060 ab
Teste F				
Tratamentos (F)	1,5040 ^{ns}	6,3008**	4,5651**	3,5909*
F-crit.	2,6207	3,8951	3,8951	2,6207
CV (%)	22,54	19,92	15,84	20,78

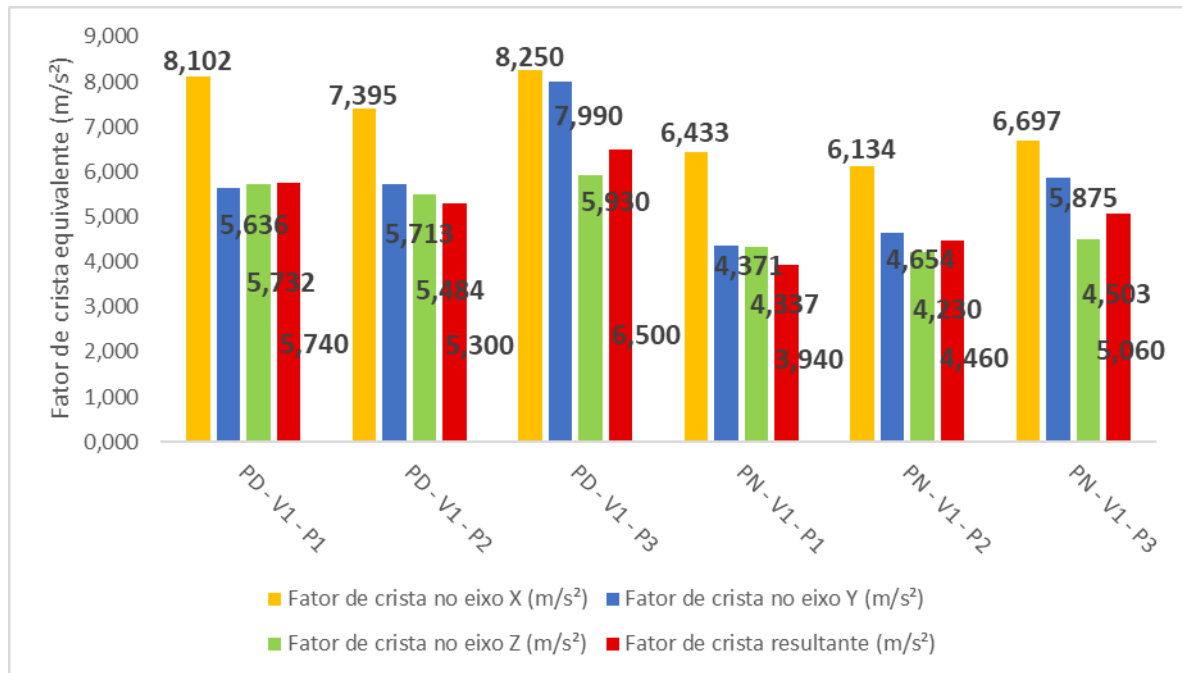
Continuação... Tabela 9 - Valores de fator de crista (m.s⁻²) nos eixos X, Y, Z e resultante, Teste F e Teste de Normalidade de Anderson-Darling.

DMS	3,15754	2,22146	1,55929	2,09836
Teste de Normalidade de Anderson-Darling				
Valor obtido	0,41688	0,54068	0,14126	0,61751
V crit.	0,71186	0,71186	0,71186	0,71186
Normal	Sim	Sim	Sim	Sim
Velocidade de 6,2 km h ⁻¹				
Fontes de Variação	Fator de crista no eixo X (m.s ⁻²)	Fator de crista no eixo Y (m.s ⁻²)	Fator de crista no eixo Z (m.s ⁻²)	Fator de crista resultante (m.s ⁻²)
PD - P1	6,592 a	6,301 a	5,494 a	5,660 ab
PD - P2	6,294 a	6,035 a	5,908 a	5,460 ab
PD - P3	7,050 a	6,185 a	6,188 a	6,780 a
PN - P1	8,063 a	5,877 a	5,188 a	4,960 b
PN - P2	5,807 a	5,851 a	4,853 a	5,420 ab
PN - P3	8,185 a	6,792 a	7,021 a	5,560 ab
Teste F				
Tratamentos (F)	2,6709*	0,4974 ^{ns}	2,1357 ^{ns}	2,8412*
F-crit.	2,6207	0,159	2,6207	2,6207
CV (%)	18,80	17,95	20,57	14,31
DMS	2,57128	2,16526	2,32191	1,57684
Teste de Normalidade de Anderson-Darling				
Valor obtido	0,60054	0,40091	0,68776	0,64898
V crit.	0,71186	0,71186	0,71186	0,71186
Normal	Sim	Sim	Sim	Sim
Velocidade de 8,6 km h ⁻¹				
Fontes de Variação	Fator de crista no eixo X (m.s ⁻²)	Fator de crista no eixo Y (m.s ⁻²)	Fator de crista no eixo Z (m.s ⁻²)	Fator de crista resultante (m.s ⁻²)
PD - P1	7,238 a	6,190 a	5,337 a	5,960 ab
PD - P2	6,367 a	6,285 a	7,005 a	5,300 ab
PD - P3	6,975 a	7,914 a	7,083 a	7,340 a
PN - P1	3,525 b	5,478 a	5,661 a	4,960 b
PN - P2	5,939 ab	5,484 a	6,077 a	5,800 ab
PN - P3	7,020 a	6,566 a	6,329 a	5,220 ab
Teste F				
Tratamentos (F)	5,3748**	2,2860 ^{ns}	1,0345 ^{ns}	2,9058*
F-crit.	3,8951	2,6207	2,6207	2,6207
CV (%)	21,63	21,00	24,78	19,53
DMS	2,61174	2,59412	3,02635	2,19966
Teste de Normalidade de Anderson-Darling				
Valor obtido	0,32398	0,44541	0,31911	0,49560
V crit.	0,71186	0,71186	0,71186	0,71186
Normal	Sim	Sim	Sim	Sim

Legenda: Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

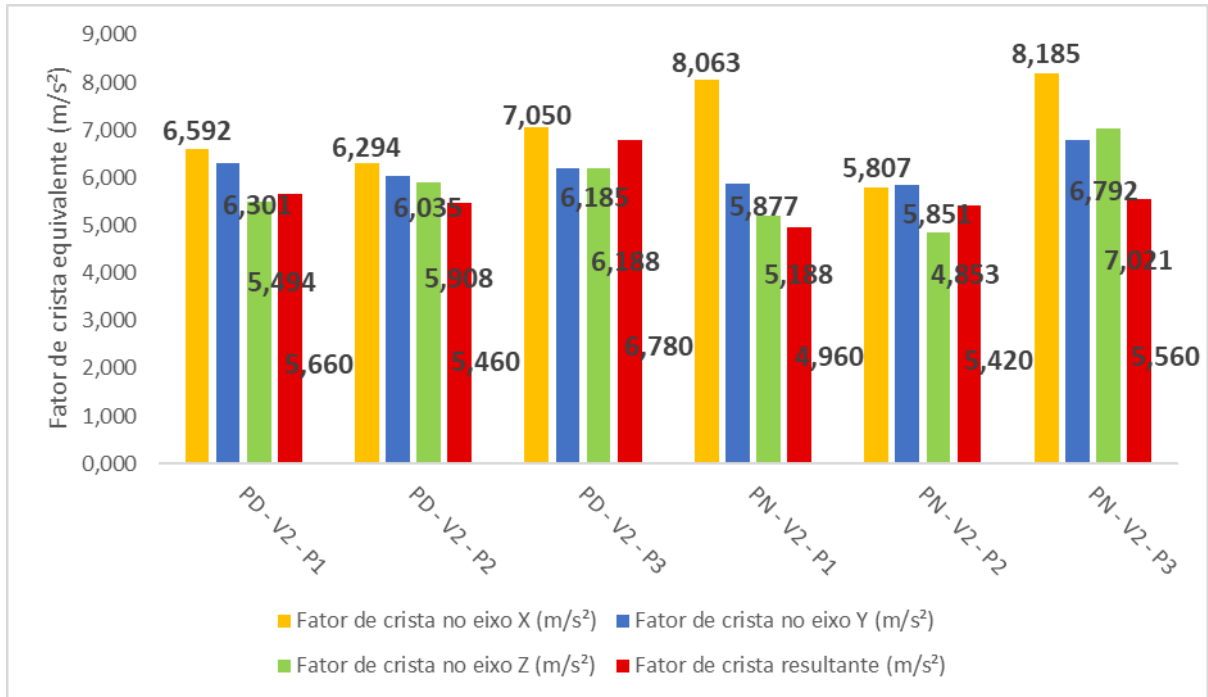
PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro.
 Fonte: Elaborada pela Autora (2021).

Figura 24 - Fator de crista nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 4,2 km h⁻¹.



Legenda: PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. V1: 4,2 km.h⁻¹. V2: 6,2 km.h⁻¹. V3: 8,6 km.h⁻¹. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro.
 Fonte: Elaborado pela autora (2021).

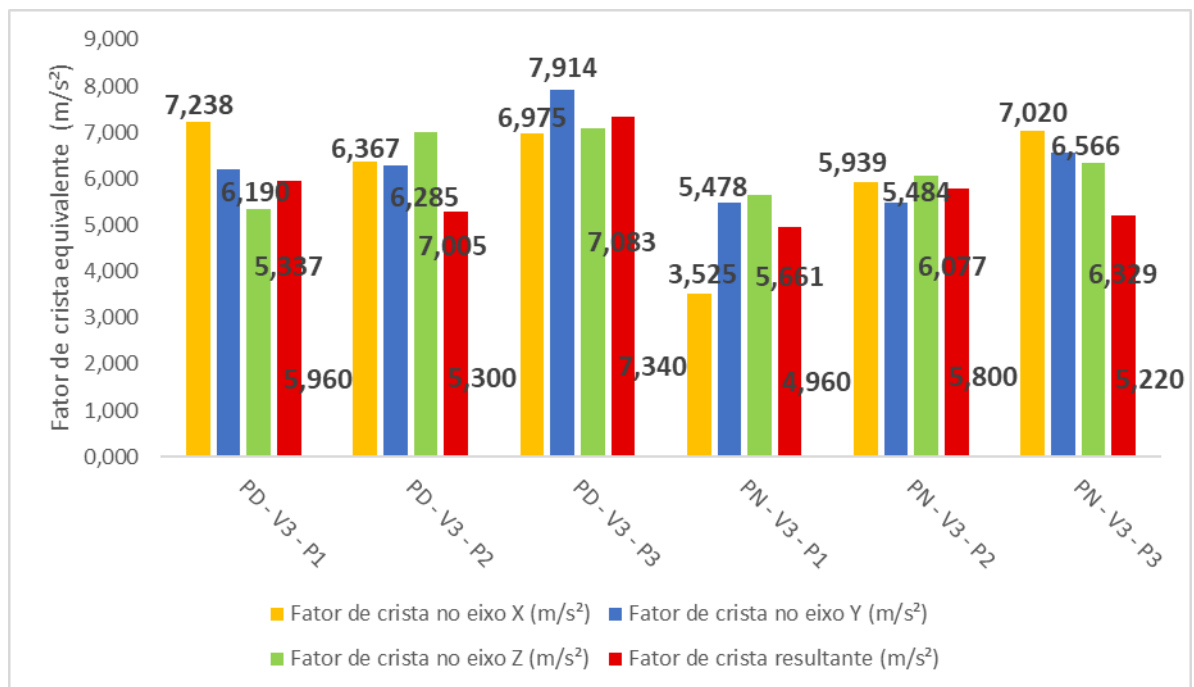
Figura 25 - Fator de crista nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 6,2 km h⁻¹.



Legenda: PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. V1: 4,2 km.h⁻¹. V2: 6,2 km.h⁻¹. V3: 8,6 km.h⁻¹. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 26 - Fator de crista nos eixos X, Y, Z e resultante na velocidade de 8,6 km h⁻¹.



Legenda: PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. V1: 4,2 km.h⁻¹. V2: 6,2 km.h⁻¹. V3: 8,6 km.h⁻¹. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Para obtenção do fator de crista é preciso conhecer a raiz média quadrática (RMS) da aceleração, a qual caracteriza a gravidade das vibrações e o possível potencial destrutivo e o pico máximo que é a máxima amplitude de aceleração medida em certo período podendo ser um indicador de impacto de curta duração (ALMEIDA, 2018). Ou seja, o fator de crista é um valor que quantifica o quanto que o pico máximo está longe do valor de aceleração média. através da razão entre o pico máximo resultante obtido e a média da aceleração nos três eixos X, Y e Z.

Silva Filho (2017), aponta que o fator de crista permite observar a homogeneidade da vibração de corpo inteiro ao longo do período avaliado. Valores acima de 9 para o fator de crista indicam presença de picos sobressalentes em relação a aceleração média, ou seja, grande ocorrência de choques instantâneos, na maioria das vezes resultante de fenômenos repetitivos a intervalos regulares, no experimento é possível observar que não houve valores superiores a 9 para nenhuma das velocidades analisadas, mostrando que os valores de pico máximo não foram expressivamente superiores aos valores médios de aceleração, sendo os tratamentos analisados menos sensíveis aos picos.

Valores baixos de picos destacados podem ser atribuídos, entre outros fatores pela: ausência de um implemento agrícola acoplado ao trator, uso do cinto de segurança pelo operador, área de um relevo plano com suaves ondulações, preparo anterior da área com aração e gradagem, favorecendo o nivelamento o terreno (COSTA, 2018).

É possível observar que para a velocidade mais baixa, de 4,2 Km h⁻¹ o teste F apresentou diferenças significativas apenas para os eixos Y e Z, sendo os maiores valores de fator de crista encontrados nos tratamentos com pneu novo e desgastado em combinação com maior pressão de inflação dos pneus, indicando que nessas condições, os valores de pico máximo são mais distantes da média.

Analisando a velocidade de deslocamento de 6,2 km h⁻¹ (V2) e 8,6 km h⁻¹ (V3), houve diferença estatística significativa apenas para o eixo X, mostrando que nesse eixo, o aumento da velocidade provocou incremento considerável nos valores de aceleração média e valores de pico máximo, aumentando a diferença entre eles proporcionando maiores valores de fator de crista.

Para atenuar a vibração incidente sobre o operador e minimizar o impacto gerado pelos picos destacados, uma das medidas adotadas pode ser o uso de lastros sólidos. Pinho *et*

al. (2014), indicaram que os menores valores de vibração se deram quando se utiliza o lastro metálico, pois com uso do lastro líquido o movimento oscilatório da água no interior do pneu, na direção de deslocamento, produziu um aumento da magnitude das acelerações.

Em determinados países a legislação recomenda que a avaliação da insalubridade seja feita apenas pela aceleração resultante de exposição normalizada (aren) e por VDVR apenas quando os valores de fator de crista forem maiores que 9, devido ao método permitir uma melhor avaliação destes picos destacados, entretanto no Brasil a norma vigente, NHO-09 (FUNDACENTRO, 2013), afirma que para avaliação de insalubridade devem ser avaliados sempre aren e VDVR independentemente do valor de fator de crista obtido (SANTOS,2019).

4.4 Aceleração resultante de exposição normalizada (aren) e valor de dose de vibração resultante (VDVR).

Na Tabela 10 e nas Figuras 27 e 28 podem ser observados os valores médios de dose de vibração resultante (VDVR) e aren (Aceleração resultante de exposição normalizada).

Tabela 10 – Valores de aren ($m.s^{-2}$) e VDVR ($m.s^{-1,75}$), Teste F e Teste de Normalidade de Anderson-Darling para velocidade de deslocamento de 4,2 $km\ h^{-1}$.

Velocidade de 4,2 $km\ h^{-1}$			
Fontes de Variação	aren ($m.s^{-2}$)	VDVR ($m.s^{-1,75}$)	
PD - P1	0,430 ab	6,160	ab
PD - P2	0,440 a	6,470	a
PD - P3	0,460 a	6,600	a
PN - P1	0,370 c	5,380	c
PN - P2	0,380 c	5,860	bc
PN - P3	0,400 bc	5,790	bc
Teste F			
Tratamentos (F)	25,3333**	14,0013**	
F-crit.	3,8951	3,8951	
CV (%)	3,83	4,52	
DMS	0,03090	0,53349	
Teste de Normalidade de Anderson-Darling			
Valor obtido	0,33825	0,28384	
V crit.	0,71186	0,71186	
Normal	Sim	Sim	
Velocidade de 6,2 $km\ h^{-1}$			
Fontes de Variação	aren ($m.s^{-2}$)	VDVR ($m.s^{-1,75}$)	
PD - P1	0,610 b	9,800	b
PD - P2	0,680 a	9,300	c
PD - P3	0,710 a	10,730	a
PN - P1	0,560 c	8,200	e
PN - P2	0,570 c	8,300	e
PN - P3	0,590 bc	8,700	d
Teste F			
Tratamentos (F)	75,2000**	191,7941**	

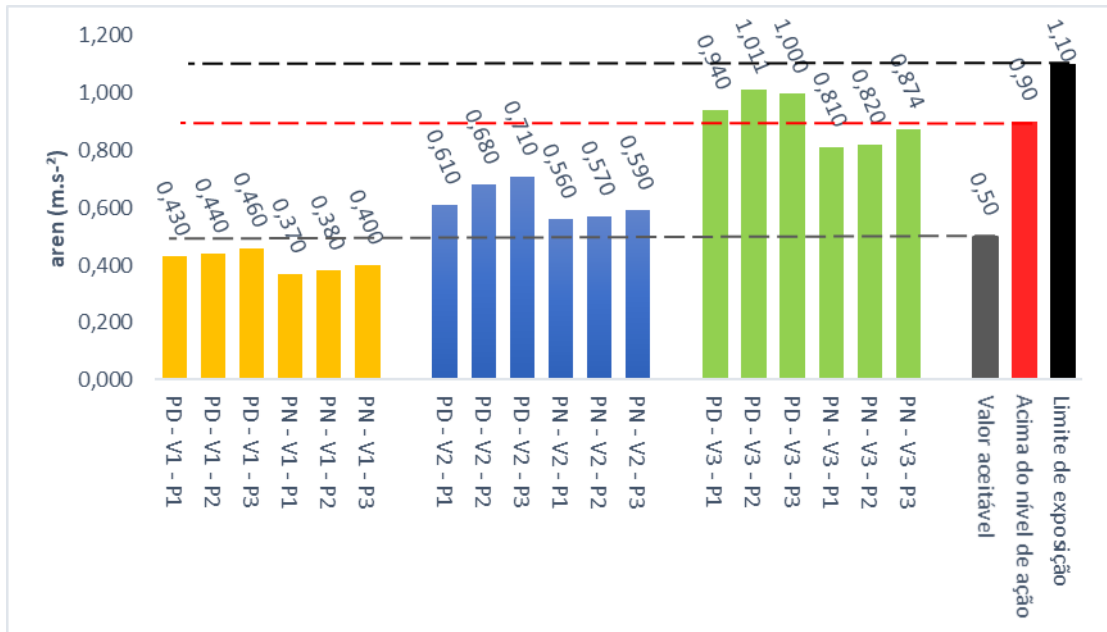
Continuação... Tabela 10 – Valores de aren (m.s^{-2}) e VDVR ($\text{m.s}^{-1,75}$), Teste F e Teste de Normalidade de Anderson-Darling para velocidade de deslocamento de 4,2 km h⁻¹.

F-crit.	3,8951	3,8951
CV (%)	2,55	1,72
DMS	0,03090	0,30808
Teste de Normalidade de Anderson-Darling		
Valor obtido	0,37291	0,51018
V crit.	0,71186	0,71186
Normal	Sim	Sim
Velocidade de 8,6 km h ⁻¹		
Fontes de Variação	aren (m.s^{-2})	VDVR ($\text{m.s}^{-1,75}$)
PD - P1	0,940 b	13,972 b
PD - P2	1,011 a	14,090 c
PD - P3	1,000 a	15,560 a
PN - P1	0,810 d	12,110 e
PN - P2	0,820 d	12,006 e
PN - P3	0,874 c	12,754 d
Teste F		
Tratamentos (F)	72,1361**	51,8587**
F-crit.	3,8951	3,8951
CV (%)	2,54	3,19
DMS	0,04520	0,83612
Teste de Normalidade de Anderson-Darling		
Valor obtido	0,11441	0,51653
V crit.	0,71186	0,71186
Normal	Sim	Sim

Legenda: Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). * Significativo pelo teste F ao nível 5% de probabilidade. ** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade. ns: não significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade. DMS: diferença mínima significativa. CV: coeficiente de variação.

PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro. Fonte: Elaborada pela Autora (2021).

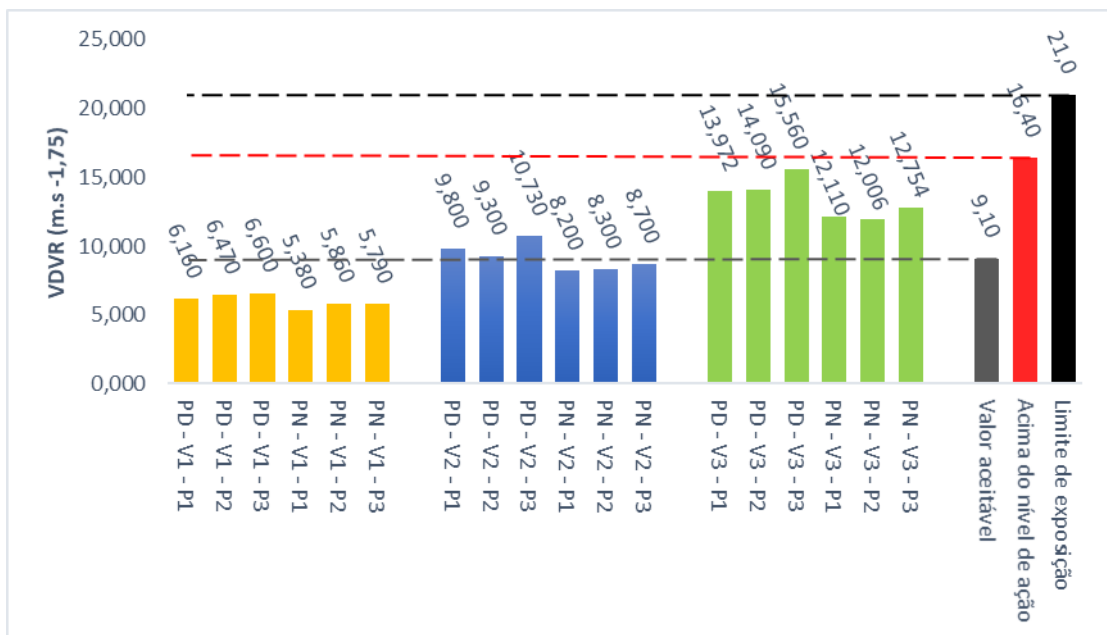
Figura 27 - Valores de aren (Aceleração resultante de exposição normalizada - $m.s^{-2}$) nas três velocidades de deslocamento.



Legenda: PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. V1: 4,2 $km.h^{-1}$. V2: 6,2 $km.h^{-1}$. V3: 8,6 $km.h^{-1}$. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 28 - Valores de VDVR (valor de dose de vibração resultante - $m.s^{-1,75}$) nas três velocidades de deslocamento.



Legenda: PD: Pneu desgastado. PN: Pneu novo. V1: 4,2 $km.h^{-1}$. V2: 6,2 $km.h^{-1}$. V3: 8,6 $km.h^{-1}$. P1: 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro. P2: 110,3 kpa no eixo dianteiro e 124,1 kpa no eixo traseiro. P3: 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Para quantificar as vibrações ocupacionais de corpo inteiro são avaliados os parâmetros de aceleração resultante de exposição normalizada (aren), que consiste no valor total de vibração equivalente à energia de 8h em uma superfície em contato com o corpo e o Valor de Dose de Vibração (VDV), que é similar ao cálculo do valor rms, porém com os termos na quarta potência, ou seja, potencializa o valor dos picos. O Valor de dose de Vibração, representa a exposição cumulativa a vibração em um dia de trabalho, utilizado principalmente para avaliação do efeito da vibração sobre o corpo humano em jornadas maiores que 8 horas por representar de forma mais adequada os solavancos e choques que ocorrem durante o trabalho (SCARLETT *et al.*, 2007)

Na Tabela 9, e nas figuras 20, 21 e 22 são apresentados os valores médios do valor de dose de vibração resultante (VDVR) e da de aceleração resultante de exposição normalizada (aren), onde é possível observar que houve diferença significativa entre os tratamentos.

De acordo com a NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013) valores aceitáveis de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) vão de 0 a 0,5 m.s⁻² e valores de dose de vibração resultante (VDVR) aceitáveis vão de 0 até 9,1 m.s^{-1,75}, para uma jornada de trabalho de oito horas diárias.

Analisando a velocidade de 4,2 Km h⁻¹ (V1), na figura 7, foram encontrados valores entre 0,370 m.s⁻² e 0,460 m.s⁻² para aren e entre 5,380 m.s^{-1,75} e 6,600 m.s^{-1,75}, sendo que nenhum dos tratamentos obtiveram valores acima do nível de ação para aren e VDVR, sendo considerados aceitáveis, não havendo necessidade da adoção de medidas de correção, seguindo a recomendação da FUNDACENTRO (2013), nessas condições a atuação recomendada é de manutenção da condição existente.

Observa-se na velocidade de 4,2 km h⁻¹, que nos tratamentos com pneu novo em combinação com a menor pressão interna de ar nos pneus de 96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro (P1), encontraram-se aos menores valores de aren e VDVR, e os maiores valores foram encontrados nos tratamentos com pneu desgastado em combinação com a maior pressão de inflação de 124,1 kpa no eixo dianteiro e 137,9 kpa no eixo traseiro (P3).

Para velocidade de 6,2 km.h⁻¹ (V2), na figura 10, os valores encontrados foram entre 0,560 m.s⁻² e 0,710 m.s⁻² para aren e 8,200 m.s^{-1,75} e 10,730 m.s^{-1,75} para VDVR. Percebe-se que para aren que todos os tratamentos apresentaram valores acima do nível de

ação, sendo necessária a adoção de medidas preventivas que visam minimizar a probabilidade de que as exposições à vibração causem prejuízos ao operador e evitar que o limite de exposição seja ultrapassado. Avaliando VDVR, observa-se que os tratamentos com pneu desgastado nas três pressões de inflação, apresentaram valores acima do nível de ação.

Entre as medidas preventivas que podem ser utilizadas para reduzir essa probabilidade de exposição a vibração, conforme a NHO-09, estão: o monitoramento periódico da exposição, a informação e orientação aos trabalhadores e o controle médico. (FUNDACENTRO, 2013).

Quando VDVR atinge valores acima de $8,5 \text{ m.s}^{-1,75}$, o operador está sujeito a efeitos danosos a saúde, além de estar trabalhando em condições de desconforto médio, na medida em que este parâmetro indica a severidade da exposição à vibração, entretanto não existe acordo da comunidade científica sobre a relação entre VDVR e o risco de ferimentos a que o corpo pode sofrer, considerando que valores de VDVR em torno de $15 \text{ m s}^{-1,75}$ usualmente podem ocorrer em superfícies muito acidentadas, podendo causar grande desconforto, dores e ferimentos (BALBINOT, 2001). Ribas *et al.* (2014), utilizando diferentes tratores em experimento, encontraram valores de VDVR superiores a $8,5 \text{ m s}^{-1,75}$ no assento e no seu suporte.

Santos (2016), identificou também, que valores de aren crescem em função do aumento da velocidade de deslocamento do trator e da pressão interna de ar nos pneus e diminuem com a presença de material de cobertura no solo.

Para a velocidade de $8,6 \text{ km h}^{-1}$ (V3), conforme a figura 10, foram encontrados valores entre $0,810 \text{ m.s}^{-2}$ e $1,011 \text{ m.s}^{-2}$ para aren e entre $12,006 \text{ m.s}^{-1,75}$ e $15,560 \text{ m.s}^{-1,75}$ para VDVR. Analisando os valores de aren, percebe-se que os tratamentos com pneu novo nas três pressões avaliadas, ficaram acima do nível de ação, fazendo-se necessária a adoção de medidas preventivas. Já os demais tratamentos com pneu desgastado, apresentaram valores que se encontram na região de incerteza, sendo nessas condições, recomendada a adoção de medidas preventivas e corretivas visando a redução da exposição diária. Avaliando VDVR, observa-se que todos os tratamentos apresentaram valores acima do nível de ação.

A fim de reduzir essa exposição diária, a norma NHO-09, aponta além das medidas preventivas, já citadas anteriormente, medidas corretivas como: modificação do processo de trabalho; manutenção de veículos e máquinas, especialmente os sistemas de suspensão e amortecimento, assento do operador, calibração de pneus, alinhamento e

balanceamento, troca de componentes defeituosos ou desgastados de forma a mantê-los em bom estado de conservação; diminuição do tempo de exposição diária; alternância de atividades com operações que geram exposições a menores níveis (FUNDACENTRO, 2013).

Para avaliação das condições de insalubridade com vibrações de corpo inteiro devem ser analisados os valores de *are* e VDVR que geralmente apresentam resultados semelhantes, mas em alguns casos esses valores podem apresentar discrepância pois os valores de VDVR são mais sensíveis aos valores de pico (Lopes, 2012), e valores de pico menores em relação aqueles encontrados na literatura podem influenciar reduzindo os valores de VDVR em alguns tratamentos (SANTOS, 2016).

5 CONCLUSÃO

A utilização do pneu desgastado apresentou maiores índices de vibração de corpo inteiro, para todos os parâmetros avaliados nas três velocidades de deslocamento.

O emprego de pressões mais baixas apresentou menores níveis de vibração.

O tratamento com pneu novo em combinação com a menor pressão de inflação (96,5 kpa no eixo dianteiro e 110,3 kpa no eixo traseiro) apresentou menores intensidades de vibração de corpo inteiro e conseqüentemente menor risco de dano à saúde do operador considerando uma jornada de trabalho de 8 horas diárias.

O aumento na velocidade de deslocamento proporcionou acréscimo nos níveis de VCI a qual o operador está exposto.

Todos os tratamentos avaliados apresentaram valores de VDVR e aren abaixo do limite de exposição, o que não caracteriza essas condições de trabalho como insalubre.

Os tratamentos com pneu desgastado na velocidade de 8,6 km h⁻¹, nas três pressões, apresentaram valores de aren acima do nível de ação, caracterizado assim como uma região de incerteza, exigindo adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P.C.; LIMA, K. F.; BETEGA, R. A. **Doença de Raynaud como consequência da vibração ocupacional**. Revista Científica Semana Acadêmica, Fortaleza, 2018, n 000132, set/2018. Disponível em: <https://semanaacademica.com.br/artigo/doenca-de-raynaud-como-consequencia-da-vibracao-ocupacional>. Acesso em: 12 maio 2021.
- ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. **A test of goodness of fit**. *Journal of the American statistical association*, [s.l.]. v. 49, n. 268, p. 765-769, 1954.
- ANFLOR, C. T. M. **Estudo da transmissibilidade da vibração no corpo humano na posição vertical e desenvolvimento de um modelo biodinâmico de quatro graus de liberdade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Curso de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 121. 2003. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3207>. Acesso em: 18 jan. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 5008**:Tratores agrícolas de rodas e máquinas de campo - Medição da vibração transmitida ao corpo inteiro do operador. 18 p. 2015. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=331701>. Acesso em: 7 jan. 2021.
- BACK, N. **Metodologia de projetos de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983. 389 p.
- BALBINOT, A. **Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: Um enfoque no conforto e na saúde**. Tese (Doutorado em Biomecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 281. 2001.
- BARBOSA, J. A.; VIEIRA, L. B.; DIAS, G. P.; JÚNIOR, M. S. D. **Desempenho operacional de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais**. Engenharia Agrícola, v. 25, n. 2, p. 474-480, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162005000200021. Acesso em: 08 jan. 2021.
- BERASATEGUI, M.B.R. **Modelización y simulación del comportamiento de un sistema mecánico com suspensión aplicado a los asientos de los tractores agrícolas**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidad Politécnica de Madrid, Espanha, p. 264. 2000.
- BIRIS, S.S.; UNGUREANU, N.; MAICAN, E.; MURAD, E.; VLADUT, V. FEM model to study the influence of tire pressure on agricultural tractor wheel deformations. **Engineering for rural development**, [s.l.] v. 10, p. 223-228, 2011.
- BRASIL, L.A.D. (org.). **Dicas de Prevenção de Acidentes e Doenças no Trabalho**: SESI – SEBRAE Saúde e Segurança no Trabalho: Micro e Pequenas Empresas. – Brasília, DF: SESI-DN, 2005. 68 p.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15 – Anexo 8: vibrações**. Brasília, 1978. Disponível em: <http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A47594D040147D14CDC9C6FC1/NR15%20%28Anexo%20n.%20C2%BA%2008%29%20Vibra%C3%A7%C3%B5es%20%282014%29.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2021.

BURT, E.C., BAILEY, A.C. **Load and inflation pressure effects on tires**. Trans. ASAE (American Society of Agricultural Engineers), [s.l], v.25, p.881–4, 1982.

CAETANO, M. J.L. **Ciência e Tecnologia da Borracha**, [s.l], 2019. Disponível em: <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/aplicacoes/pneus/pneus-seu-desempenho-funcional-e-ambiental/desgaste/>. Acesso em: 21 fev.2021.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2 ed. Campinas: Editora UNICAMP, 2003. 207p.

CONVENÇÃO da Organização Internacional do Trabalho -OIT. **Contaminação do meio ambiente de trabalho pelo ar, ruído e vibrações**. 1977. Disponível em: https://www.ilo.org/brasil/convencoes/WCMS_236121/lang--pt/index.htm. Acesso em: 12 fev 2021.

COSTA, E.; MONTEIRO, L.A.; SANTOS, V.C.; MACEDO, D.X.S.; ALBUQUERQUE, T.N. Desenvolvimento de um artefato para atenuação da vibração de corpo inteiro em tratores agrícolas. **Energia na Agricultura** (CD Rom), v. 33, p. 22-26, 2018.

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

CUTINI, M.; ROMANO, R.; BISAGLIA, C. Assessment of the influence of the eccentricity of tires on the whole-body vibration of tractor drivers during transport on asphalt roads. **Journal of Terramechanics**. v. 49, n. 3, p. 197-206, 2012.

DEBIASI, H.; SCHLOSSER, J. F.; PINHEIRO, E. D. Características ergonômicas dos tratores agrícolas utilizados na região central do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, 2004.

DEXTER, A.R.; WATTS, C. **Tensile strength and friability**. In: SMITH, K. & MULLINS, C. eds. Soil and environmental analysis: Physical methods. 2.ed. New York, Marcel Dekker, 2000. p.401-430.

DOIMO L.S. **Avaliação da vibração ocupacional no posto operacional de tratores agrícolas estáticos utilizando-se duas rotações angulares**. Botucatu. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. São Paulo, p.92. 2016.

DONADIO, R. N. **Modelagem do Comportamento Direcional de Motocicletas em Curva**. Dissertação (Mestrado em Dinâmica) - Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, p.126. 2009.

DONATI, P. Prévention des vibrations: choix et utilisation des sièges de tracteurs et de machines agricoles. **Document de travail INRS** n. 299, 2002.

ELLIS, R. W. **Agricultural tire design requirements and selection considerations**. American Society of Agricultural Engineers, Chicago, n. 3, 1997, 10 p.

EMBRAPA SOLOS. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro. Embrapa Solos. 2011. 230p. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/>. Acesso em: 12 jan. 2021.

FÁVERO, L. P. L.; BELFIORE, P. **Manual de Análise de Dados: Estatística e Modelagem Multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. 1187p.

FIGUEIREDO, M. A. M.; SILVA, L. F.; BARNABÉ, T. L. Transporte coletivo: vibração de corpo-inteiro e conforto de passageiros, motoristas e cobradores. **Journal Of Transport Literature**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 35-39, mar. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v10n1a7>. Acesso em: 15 jun. 2021.

FONTANA, G. **Avaliação ergonômica do projeto interno de Cabines de forwarders e skidders**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – ESALQ, Universidade de São Paulo. Piracicaba, p.80. 2005.

FORASTIERI, P. R. **Parâmetros de desempenho do trator agrícola modificado “transformax”**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, p. 90. 2016.

FRANCHINI, D. **Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trator agrícola**. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p.139. 2007.

FRANZ, C.A. **Avaliação do desempenho de pneumáticos para tratores com diferentes níveis de desgaste**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Santa Maria, p.92. 1988.

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

FURTADO JÚNIOR, M. R. **Análise operacional de um trator agrícola em função da pressão interna dos pneus e inclinação da linha de tração**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p.127. 2013.

GIMENEZ, L. M. **Ergonomia e segurança em máquinas agrícolas**. Universidade de São Paulo, USP, 18p. Notas de aula da disciplina Sistemas Mecanizados Agrícolas. 2016.

HILBERT, J.; BARCELÓ, L.; AUCANA, M. Estudio de impacto utilizando diferentes presiones de inflado sobre las vibraciones de cuerpo entero en tractores agrícolas. *In: XIII Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola*, 33., 2002, São Paulo. **Anais**. SBEA: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. CD Rom.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2631 Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure of Whole- Body Vibration: General requirements.** Genebra, 1997.

JOHNSON, P. W.; DENNERLEIN, J. RAMIREZ, L.M.; ARIAS, C.; ESCALLÓN, A. C. R.; BECERRA, I. E. R.; AULCK, L.; PIEDRAHITA, H.; BARRERO, L. H. **Assessment of continuous and impulsive whole body vibration exposures in heavy equipment mining vehicles.** *In: Proceedings of the 19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Melbourne, Australia, 2015.*

KNOB, M. J. **Estudo de trafegabilidade aplicado a veículos de roda em transporte e tração.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Mecanização agrícola). - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p. 153. 2010.

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

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

LANÇAS, K. P.; UPADHYAYA, S. K. Pneus radiais para tratores: Guia para a seleção correta da pressão de inflação. Boletim Técnico n.1. **Energia na Agricultura**, Botucatu. 33p. 1997.

LANÇAS, K.P.; TOSIN, R. C.; ARAUJO, J. A. B.; MONTEIRO, L. DE A.; GUERRA, S. P. S. **Avaliação da Vibração Ocupacional no Corpo Inteiro para Tratores Agrícolas de 55,2 kw e 109,5 kw.** CONBEA, Juazeiro, BA/ Petrolina, PE, ago. 2009.

LEE, D. R.; KIM, K. U. Effect of inflation pressure on tractive performance of bias-ply tires. **Journal of Terramechanics, Oxford**, v. 34, n. 3, p. 187-208, may 1997.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; OLIVEIRA, R. M. Avaliação de alguns fatores ergonômicos nos tratores “Feller-Buncher” e “Skidder” utilizados na colheita de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 291-298, 2005.

LOPES, A. **Desgaste em pneus do rodado motriz de trator agrícola em função do deslizamento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Mecanização Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 33. 1996.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; SILVA, R. P. Desempenho de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.2, p. 366- 370, 2005.

LOPES, J. L. Análise de Vibração Ocupacional de Corpo Inteiro Em Máquinas Colhedoras de Cana de Açúcar. *In: Revista ABHO*, 2012, São Paulo.

LYASKO, M. Multi-pass effect on off-road vehicle tractive performance. **Journal of Terramechanics**, v. 47, n. 5, p. 275-294, 2010.

MACEDO, D. X. S.; NICOLAU, F. E. A.; NASCIMENTO, H. C. F.; COSTA, E.; CHIODEROLI, C. A.; LOUREIRO, D. R. Operational performance of a tractor-seeder according to the velocity and working depth. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Online), v. 20, p. 280-285, 2016.

MAGALHÃES, A. C.; LOPES, A.; DIAS, G. P.; BORGATTO, A. V A. **Desempenho do rodado motriz em função das alturas das garras dos pneus para um solo P.V. câmbico, fase terraço, arado e gradeado.** In: A ENGENHARIA AGRÍCOLA NA VIRADA DO MILÊNIO, 1995, VIÇOSA, MG. XXIV CONBEA - Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 1995. v. 1. p. 368-368.

MARIN, L.S.; RODRIGUEZ, A.C.; BECERRA, E.R.; PIEDRAHITA, H.; BARRERO, L.H.; DENNERLEIN, J.T.; JOHNSON, P.W. Assessment of whole-body vibration in heavy equipment mining vehicles. **Annals of Work Exposures and Health**. Oxford v. 61, n. 6, p. 669–680, 2017. Disponível em: <https://academic.oup.com/annweh/article/61/6/669/3871405>. Acesso em: 12 jan. 2021.

MARSHALL, K. D. An Overview of Tire Technology. **The Pneumatic Tire**, p. 231-285, 2006.

MENDES, A. S. **Desenvolvimento e validação de metodologia para análise de vibrações torcionais em motores de combustão interna.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p.110. 2005.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1974. 301 p.

MIALHE, L.G. **Máquinas Motoras na Agricultura.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, v. 2, 1980. 366 p.

MICHELIN - Brasil. 2009. **Segurança dos pneus.** Disponível em:<http://www.michelin.com.br/tudo-sobrecarros/Aprenda-e-Compartilhe/Tudo-sobre-Pneus/Conheca-os-riscos-de-manter-apressao-errada-dos-pneus.html>. Acesso em: 5 jan. 2021.

MONTEIRO, L.A.; ALBIERO, D.; LANÇAS, K. P.; BUENO, A. V.; MASIERO, F. C. Energetic efficiency of an agricultural tractor in function of tire inflation pressure. **Engenharia Agrícola**, [s.l.], v. 33, n. 4, p. 758-763, ago. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162013000400015>. Acesso em: 05 jun. 2021.

MONTEIRO, L.A.; LANÇAS, K.P.; GUERRA, S.P.S. Desempenho de um trator agrícola equipado com pneus radiais e diagonais com três níveis de lastros líquidos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n.3, p.551-560, mai./jun. 2011.

NAGAOKA, A. K.; LANÇAS, K. P.; CASTRO NETO, P.; LOPES, A.; GUERRA, S. P. S. Projeto, construção e avaliação de um equipamento para ensaio dinâmico de pneu agrícola individual. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 2002.

NGUYEN, V. N.; INABA, S. Effects of tire inflation pressure and tractor velocity on dynamic wheel load and rear axle vibrations. **Journal of Terramechanics**, v. 48, n. 1, p. 3-16, 2011.

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Code 2. **OECD standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance**. February 2012. 90 p.

PEKKARINEN J. Noise impulse noise, and other physical factors combined effects on hearing. **Occup Med: State e Art Reviews**, v. 10, n. 2, p. 545-59, 1995

PINHO, M. DA S.; SCHLOSSER, J.F.; FRANTZ, U.G.; RODRIGUES, F.A.; FERRER, P.S. Efetividade de um coxim de cabina do trator agrícola na atenuação das vibrações. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 3, p. 461-468, jul./set. 2014 Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

PINZKE, Stefan. **Towards The Good Work: Methods for Studying Working Postures to Prevent Musculoskeletal Disorders with Farming as Reference Work**. Swedish University of Agricultural Science, Sweden, p.57. 1999.

PONZETTO, G. **Mapa de riscos ambientais: aplicado à engenharia de segurança do trabalho – CIPA: NR 05. – 3. ed.** São Paulo-SP. 2010. 151p.

PRASAD, N.; TEWARI, V. K.; YADAV, R. Tractor ride vibration: a review. **Journal of Terramechanics**. Grã-bretanha, v. 32, n. 4, p. 205-219. 1995. Disponível em: <http://bse.srv214.bse.vt.edu/Hop/Papers/Tractor Ride Vibration-A Review.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2021.

REGAZZI, R. D.; XIMENES, M. G. **Importância da avaliação da vibração no corpo humano**: INMETRO. Rio de Janeiro: 2003. 20 p. disponível em: <https://pt.scribd.com/document/364215116/Avaliacao-Da-Vibracao-No-Corpo-Humano>. Acesso em: 4 jan. 2021.

RIBAS, R. L. **Exposição humana a vibrações de corpo inteiro em um trator agrícola em operação de semeadura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p.89. 2012.

RIBAS, R. L.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; FARIAS, M. S. D.; RODRIGUES, F. A. Exposição humana à vibrações de corpo inteiro em um trator agrícola com pneus radiais. **Ciência Rural** (UFSM. Impresso), v. 44, p. 1589-1595, 2014.

ROTH, C. W. **Transmissibilidade da vibração e distribuição da pressão na interface assento-operador de tratores agrícolas em condições dinâmicas**. Tese (Pós-graduação em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p.142. 2010.

SALIBA, T. M. **Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração**. 4. ed. São Paulo: LTr, 2014. v. 01. 104p.

SANDI, J.; TESTA, J. V. P.; MARTINS, M. B.; FIORESE, D. A.; LANÇAS, K. P. Vibração ocorrente sobre o corpo inteiro do operador de trator agrícola em ensaio padronizado. **Revista**

de Agricultura Neotropical, Cassilândia-MS, v. 5, n. 2, p. 54-60, abr./jun. 2018. Disponível em: <http://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/2152>. Acesso em: 5 jun. 2021.

SANTOS, D. W. F. N.; FORASTIERE, P. R.; FURTADO JUNIOR, M. R.; VALENTE, D. S. M.; FERNANDES, H. C. Parâmetros ergonômicos e operacionais de um conjunto trator-escarificador em função da rotação do motor e pressão interna dos pneus. **Amazonian Journal Of Agricultural And Environmental Sciences / Revista De Ciências Agrárias**, v. 59, p. 401-408, 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, Viçosa. **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 2, 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.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Mecanização Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 53. 2002.

SANTOS, T. B. **Influência das Desurniformidades do Pneumático no Conforto Vibracional de um Veículo.** Dissertação (Mestrado em Mecânica dos Sólidos e Projeto Mecânico) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p.86. 2010.

SANTOS, V.C.; MONTEIRO, L.A.; MACEDO, D.X.S.; COSTA, E. Whole body vibration in operators using agricultural soil preparation equipment. **Ciência Rural**, v. 49, p. 1, 2019.

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** (CD Rom), v. 31, p. 312, 2016

SCANIA CV AB. **Falta de conforto causada por vibrações.** [S.I]. 2012. Disponível em: https://til.scania.com/groups/bwd/documents/bwm/bwm_0000508_16.pdf. Acesso em: 02 mai. 2021.

SCARLETT, A. J.; PRICE, J. S.; STAYNER, R. M. **Whole-Body Vibration: Evaluation of Emission and Exposure Levels Arising from Agricultural Tractors.** Silsoe Research Institute for the Health and Safety Executive, v. 32, p. 221-232, 2007.

RIBAS, R. L. ; SCHLOSSER, J. F. . Sintomas relacionados a esforços repetitivos em operadores de máquinas agrícolas. *In*: IX Congresso Latino Americano e do Caribe de Engenharia Agrícola, 2010, Vitória, ES. **Anais do IX Congresso Latino Americano e do Caribe de Engenharia Agrícola.** Jaboticabal, SP: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2010. v. 1. p. 1-1.

SCHLOSSER, J. F.; DEBIASI, H. **Acidentes com tratores agrícolas: caracterização e prevenção.** Santa Maria: UFSM, 2004. 86 p. (Caderno Didático, 8).

SELL, I. **Projeto do trabalho humano: melhorando as condições de trabalho.** Florianópolis: UFSC, 2002. 470 p.

SENAR. **Pneus agrícolas: produtor rural ainda comete erros na manutenção do produto.** Santa Catarina. 2017. Disponível em: <http://www2.senar.com.br/Noticias/Detalhe/9541>. Acesso em: 25 jun. 2021.

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.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p.73. 2018.

SMITH, D. R.; LEGGAT, P. A. **Whole Body Vibration: Health Effects, Measurements and Minimization.** Professional Safety, 2005, 35 – 40. Jul. 2005. Disponível em: <https://www.assp.org/>. Acesso em 02 jan 2021.

SOLECKI, L. Preliminary recognition of whole body vibration risk in private farmers working environment. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine.**, v. 14, p. 299-304, 2007. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18247468>. Acesso em: 21 jun. 2021.

SPAGNOLO, R. T.; VOLPATO, C. E. S.; BARBOSA, J. A.; PALMA, M. A. Z.; BARROS, M. M. Fuel consumption of a tractor in function of wear, of ballasting and tire inflation pressure. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 131-139, 2012.

TAGHIZADEH-ALISARAEI, A.; GHOBADIAN, B.; HASHJIN, T.T.; MOHTASEBI, S. Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and petrodiesel fuel blends. **Fuel.** Amsterdam. v. 102, p. 414–422, 2012.

TOSIN, R. C. **Avaliação do ruído e da vibração no posto de trabalho em dois tratores agrícolas.** Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, p.140. 2009. Disponível em: http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/101672/tosin_rc_dr_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 02 jan 2021.

VEIGA, R. K.; GONTIJO, L. A.; MASIERO, F. C.; FRANZAO, M. C. **Estudo ergonômico de comandos de tratores com enfoque nos estereótipos populares.** In: Encontro Nacional De Engenharia De Produção: A gestão dos processos de produção e as parcerias globais para o desenvolvimento sustentável dos sistemas produtivos, 23. 2013. Salvador. 2013.

VENDRAME, A. C. **Vibrações ocupacionais.** 2006. Disponível em: http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes_vendrime.pdf. Acesso em: 12 jan. 2021.

VILLIBOR, G. P.; SANTOS, F. L.; FURTADO JÚNIOR, M. R.; LOUREIRO, D. R.; QUEIROZ, D. M. D.; JUNIOR, J. K. K.; BÜCHNER, P. C. **Vibração vertical e longitudinal no assento do tratorista em operação de subsolagem em diferentes pressões de insuflação dos pneus e velocidades de deslocamento do trator.** In: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2012. São Luiz, Maranhão, Brasil. Associação Brasileira de

Engenharia e Ciências Mecânicas.

WITTCOTT, H.A.; REUBEN, B. G. **Industrial organic chemicals in perspective**. New York: John Wiley, 1980. v.2, 502p

WULFSOHN, D.; UPADHYAYA, S.K.; CHANCELLOR, W.J. Tractive characteristics of radial ply and bias ply tyres in a California soil. **Journal Of Terramechanics**, [s.l], v. 25, n. 2, p. 111-134, jan. 1988. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-4898\(88\)90019-5](http://dx.doi.org/10.1016/0022-4898(88)90019-5). Acesso em: 09 jan. 2021.

ZEHSAZ, M.; SADEGHI, M.H.; ETTEFAGH, M.M.; SHAMS, F. Tractor cabin's passive suspension parameters optimization via experimental and numerical methods. **Journal Of Terramechanics**, [s.l], v. 48, n. 6, p. 439-450, dez. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jterra.2011.09.005>. Acesso em: 12 jan. 2021.

APÊNDICE A – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES DE ACELERAÇÃO MÉDIA NOS EIXOS X, Y, Z e RESULTANTE

Tabela 11 -Análise de variância da Aceleração média no eixo X na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.00570	0.00114	5.4774 **
Resíduo	24	0.00499	0.00021	
Total	29	0.01069		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	5.4774	0.0016

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 12 - Análise de variância da Aceleração média no eixo X na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.06772	0.01354	44.2295 **
Resíduo	24	0.00735	0.00031	
Total	29	0.07507		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	44.2295	<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 13 - Análise de variância da Aceleração média no eixo X na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.42782	0.08556	29.6897 **
Resíduo	24	0.06917	0.00288	
Total	29	0.49699		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	29.6897	<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Tabela 14 -Análise de variância da Aceleração média no eixo Y na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.01527	0.00305	11.2882 **
Resíduo	24	0.00649	0.00027	
Total	29	0.02177		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	11.2882	<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 15 - Análise de variância da Aceleração média no eixo Y na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.03528	0.00706	12.3566 **
Resíduo	24	0.01370	0.00057	
Total	29	0.04898		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	12.3566	<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 16 - Análise de variância da Aceleração média no eixo Y na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.01763	0.00353	3.7557 *
Resíduo	24	0.02253	0.00094	
Total	29	0.04016		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	3.7557	0.0118

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Tabela 17 -Análise de variância da Aceleração média no eixo Z na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.04874	0.00975	39.5183 **
Resíduo	24	0.00592	0.00025	
Total	29	0.05466		
** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)				
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)				
ns não significativo (p >= .05)				
GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	39.5183	<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 18 - Análise de variância da Aceleração média no eixo Z na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.01251	0.00250	7.5094 **
Resíduo	24	0.00799	0.00033	
Total	29	0.02050		
** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)				
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)				
ns não significativo (p >= .05)				
GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	7.5094	0.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 19 - Análise de variância da Aceleração média no eixo Z na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.22224	0.04445	23.5210 **
Resíduo	24	0.04535	0.00189	
Total	29	0.26759		
** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)				
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)				
ns não significativo (p >= .05)				
GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	23.521	<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Tabela 20-Análise de variância da Aceleração média Resultante na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.05088	0.01018	13.7218 **
Resíduo	24	0.01780	0.00074	
Total	29	0.06868		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	13.7218	<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 21 -Análise de variância da Aceleração média Resultante na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.14979	0.02996	19.6556 **
Resíduo	24	0.03658	0.00152	
Total	29	0.18637		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	19.6556	<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 22 - Análise de variância da Aceleração média Resultante na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.30530	0.06106	14.9704 **
Resíduo	24	0.09789	0.00408	
Total	29	0.40318		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	14.9704	<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

APÊNDICE B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES DE PICO MÁXIMO DE VIBRAÇÃO NOS EIXOS X, Y, Z E RESULTANTE

Tabela 23 - Análise de variância do pico máximo no eixo X na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	1.19617	0.23923	2.0244 ns
Resíduo	24	2.83614	0.11817	
Total	29	4.03230		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	2.0244	0.1113

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 24 - Análise de variância do pico máximo no eixo X na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	2.98895	0.59779	4.6216 **
Resíduo	24	3.10431	0.12935	
Total	29	6.09326		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	4.6216	0.0042

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 25 - Análise de variância do pico máximo no eixo X na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	10.41746	2.08349	8.4479 **
Resíduo	24	5.91908	0.24663	
Total	29	16.33654		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	8.4479	<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 26 - Análise de variância do pico máximo no eixo Y na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.95462	0.19092	1.8735 ns
Resíduo	24	2.44580	0.10191	
Total	29	3.40042		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	1.8735	0.1366

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 27 - Análise de variância do pico máximo no eixo Y na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	1.72200	0.34440	1.3022 ns
Resíduo	24	6.34728	0.26447	
Total	29	8.06928		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	1.3022	0.2961

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 28 - Análise de variância do pico máximo no eixo Y na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	7.87532	1.57506	3.0918 *
Resíduo	24	12.22636	0.50943	
Total	29	20.10168		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	3.0918	0.0271

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Tabela 29 - Análise de variância do pico máximo no eixo Z na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.11619	0.02324	0.3972 ns
Resíduo	24	1.40408	0.05850	
Total	29	1.52027		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	0.159	0.3972	0.8458

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 30 - Análise de variância do pico máximo no eixo Z na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	1.96655	0.39331	1.8678 ns
Resíduo	24	5.05364	0.21057	
Total	29	7.02019		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	1.8678	0.1377

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 31 - Análise de variância do pico máximo no eixo Z na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	18.69510	3.73902	3.9844 **
Resíduo	24	22.52172	0.93841	
Total	29	41.21682		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	3.9844	0.0089

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 32 - Análise de variância do pico máximo Resultante na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	10.03921	2.00784	87.1215 **
Resíduo	24	0.55312	0.02305	
Total	29	10.59232		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	87.1215	<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 33 - Análise de variância do pico máximo Resultante na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	7.99310	1.59862	3.0243 *
Resíduo	24	12.68620	0.52859	
Total	29	20.67930		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	3.0243	0.0295

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 34 - Análise de variância do pico máximo Resultante na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	51.34243	10.26849	5.9831 **
Resíduo	24	41.18964	1.71623	
Total	29	92.53207		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	5.9831	0.0009

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

**APÊNDICE C – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS VALORES FATOR DE CRISTA
NOS EIXOS X, Y, Z E RESULTANTE**

Tabela 35 - Análise de variância do fator de crista no eixo X na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	19.63070	3.92614	1.5040 ns
Resíduo	24	62.64933	2.61039	
Total	29	82.28003		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	1.504	0.2258

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 36 - Análise de variância do fator de crista no eixo X na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	23.11668	4.62334	2.6709 *
Resíduo	24	41.54475	1.73103	
Total	29	64.66143		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	2.6709	0.0468

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 37 - Análise de variância do fator de crista no eixo X na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	47.99545	9.59909	5.3748 **
Resíduo	24	42.86253	1.78594	
Total	29	90.85799		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	5.3748	0.0018

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 38 - Análise de variância do fator de crista no eixo Y na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	40.70502	8.14100	6.3008 **
Resíduo	24	31.00957	1.29207	
Total	29	71.71459		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	6.3008	0.0006

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 39 - Análise de variância do fator de crista no eixo Y na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	3.05290	0.61058	0.4974 ns
Resíduo	24	29.46033	1.22751	
Total	29	32.51322		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	0.159	0.4974	0.775

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 40 - Análise de variância do fator de crista no eixo Y na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	20.13854	4.02771	2.2860 ns
Resíduo	24	42.28617	1.76192	
Total	29	62.42471		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	2.286	0.0781

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 41 - Análise de variância do fator de crista no eixo Z na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	14.53057	2.90611	4.5651 **
Resíduo	24	15.27814	0.63659	
Total	29	29.80871		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	3.8951	4.5651	0.0045

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 42 - Análise de variância do fator de crista no eixo Z na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	15.07311	3.01462	2.1357 ns
Resíduo	24	33.87723	1.41155	
Total	29	48.95034		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	2.1357	0.0957

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 43 - Análise de variância do fator de crista no eixo Z na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	12.40310	2.48062	1.0345 ns
Resíduo	24	57.55167	2.39799	
Total	29	69.95477		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	1.0345	0.4201

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 44 - Análise de variância do fator de crista Resultante na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	20.69867	4.13973	3.5909 *
Resíduo	24	27.66800	1.15283	
Total	29	48.36667		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	3.5909	0.0144

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 45 - Análise de variância do fator de crista Resultante na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	9.24800	1.84960	2.8412 *
Resíduo	24	15.62400	0.65100	
Total	29	24.87200		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	2.8412	0.0374

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 46 - Análise de variância do fator de crista Resultante na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	18.40567	3.68113	2.9058 *
Resíduo	24	30.40400	1.26683	
Total	29	48.80967		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)
 * significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
5	24	2.6207	2.9058	0.0344

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

APÊNDICE D – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE AREN

Tabela 47 - Análise de variância de aren na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.03167	0.00633	25.3333 **
Resíduo	24	0.00600	0.00025	
Total	29	0.03767		
** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)				
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)				
ns não significativo (p >= .05)				
	GL	GLR	F-crit	F
	5	24	3.8951	25.3333
				p
				<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 48 - Análise de variância de aren na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.09400	0.01880	75.2000 **
Resíduo	24	0.00600	0.00025	
Total	29	0.10000		
** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)				
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)				
ns não significativo (p >= .05)				
	GL	GLR	F-crit	F
	5	24	3.8951	75.2
				p
				<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 49 - Análise de variância de aren na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	0.19296	0.03859	72.1361 **
Resíduo	24	0.01284	0.00054	
Total	29	0.20580		
** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)				
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)				
ns não significativo (p >= .05)				
	GL	GLR	F-crit	F
	5	24	3.8951	72.1361
				p
				<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

APÊNDICE E – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DE VDVR

Tabela 50 - Análise de variância de VDVR na velocidade de 4,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	5.21667	1.04333	14.0013 **
Resíduo	24	1.78840	0.07452	
Total	29	7.00507		
** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)				
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)				
ns não significativo (p >= .05)				
	GL	GLR	F-crit	F
	5	24	3.8951	14.0013
				p
				<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 51 - Análise de variância de VDVR na velocidade de 6,2 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	23.83042	4.76608	191.7941 **
Resíduo	24	0.59640	0.02485	
Total	29	24.42682		
** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)				
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)				
ns não significativo (p >= .05)				
	GL	GLR	F-crit	F
	5	24	3.8951	191.7941
				p
				<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Tabela 52 - Análise de variância de VDVR na velocidade de 8,6 km h⁻¹.

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	5	47.46063	9.49213	51.8587 **
Resíduo	24	4.39292	0.18304	
Total	29	51.85355		
** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)				
* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)				
ns não significativo (p >= .05)				
	GL	GLR	F-crit	F
	5	24	3.8951	51.8587
				p
				<.0001

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

ANEXO A – NHO 09

Os parâmetros de avaliação da exposição do operador a vibração constam nas Normas de Higiene Ocupacional (NHO). A NHO 09 dessa norma, trata especificamente da Avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro. Os principais termos e equações, serão apresentados a seguir:

Amplitude: é o deslocamento máximo do corpo em relação a sua posição de equilíbrio, sendo que a intensidade da vibração está associada ao deslocamento, velocidade e aceleração.

Componente de exposição: parte da exposição diária que pode ser representada por um único valor de aceleração resultante de exposição parcial (arep). A componente de exposição pode ser decorrente de uma única operação ou consequência de duas ou mais operações executadas de forma sequencial.

Grupo de exposição similar (GES): corresponde a um grupo de trabalhadores que experimentam exposição semelhante, de forma que o resultado fornecido pela avaliação da exposição de parte deste grupo seja representativo da exposição de todos os trabalhadores que o compõem.

Limite de exposição (LE): parâmetro de exposição ocupacional que representa condições sob as quais se acredita que a maioria dos trabalhadores possa estar exposta repetidamente sem sofrer efeitos adversos que possam resultar em dano à sua saúde.

Nível de ação: valor acima do qual devem ser adotadas ações preventivas de forma a minimizar a probabilidade de que as exposições à vibração causem danos à saúde do trabalhador e evitar que o limite de exposição seja ultrapassado.

Ponto de medição: ponto(s) localizado(s) na zona de exposição, ou próximo(s) a esta, cujos valores obtidos sejam representativos da exposição da região do corpo atingida.

Pico a pico: indica a dupla amplitude da onda e é usado, por exemplo, onde o deslocamento vibratório da máquina é parte crítica na tensão máxima de elementos de máquina.

Zona de exposição: interface entre a fonte de vibração e a região do corpo para a qual a energia da vibração é transferida.

Aceleração instantânea $[a_j(t)]$: valor da aceleração ponderada em frequência, no instante de tempo “t”, expressa em m/s², segundo um determinado eixo de direção “j”, sendo que “j” corresponde aos eixos ortogonais “x”, “y” ou “z” (FUNDACENTRO, 2013).

Aceleração média (am_j): raiz média quadrática dos diversos valores da aceleração instantânea ocorridos em um período de medição, expressa em m/s^2 , na direção “j”, definida pela expressão que segue (FUNDACENTRO, 2013):

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

Sendo:

$a_j(t)$ corresponde aos valores $a_x(t)$, $a_y(t)$ ou $a_z(t)$, em $m.s^{-2}$, segundo os eixos ortogonais x, y e z, respectivamente;

$t_2 - t_1$ corresponde ao tempo de medição.

Aceleração média resultante (amr): corresponde à raiz quadrada da soma dos quadrados das acelerações médias, medidas segundo os três eixos ortogonais “x”, “y” e “z”, definida pela seguinte equação (FUNDACENTRO, 2013):

$$amr = \sqrt{(f_x am_x)^2 + (f_y am_y)^2 + (f_z am_z)^2} \quad [m / s^2]$$

Sendo:

am_j = aceleração média;

f_j = 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”);

Aceleração resultante de exposição parcial ($arepi$): corresponde à aceleração média resultante representativa da exposição ocupacional relativa à componente de exposição “i”, ocorrida em uma parcela de tempo da jornada diária, considerando os três eixos ortogonais. Este parâmetro poderá ser resultado de uma média aritmética das acelerações obtidas cada vez que a componente de exposição é repetida, conforme expressão que segue (FUNDACENTRO, 2013):

$$arepi = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s amr_{ik} \quad [m / s^2]$$

Sendo:

amr_{ik} = aceleração média resultante relativa à k-ésima amostra selecionada dentre as repetições da componente de exposição “i”;

s = número de amostras da componente de exposição “i” que foram mensuradas.

Aceleração resultante de exposição (are): corresponde à aceleração média resultante representativa da exposição ocupacional diária, considerando os três eixos ortogonais e as diversas componentes de exposição identificadas, definida pela expressão que segue (FUNDACENTRO, 2013):

$$are = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^m n_i arep_i^2 T_i} \quad [m/s^2]$$

Sendo:

$arep_i$ = aceleração resultante de exposição parcial;

n_i = número de repetições da componente de exposição “i” ao longo da jornada de trabalho;

T_i = tempo de duração da componente de exposição “i”;

m = número de *componentes de exposição* que compõem a exposição diária;

T = tempo de duração da jornada diária de trabalho.

Aceleração resultante de exposição normalizada (aren): corresponde à aceleração resultante de exposição (are) convertida para uma jornada diária padrão de 8 horas, determinada pela seguinte expressão (FUNDACENTRO, 2013):

$$aren = are \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad [m/s^2]$$

Sendo:

are = *aceleração resultante de exposição*;

T = tempo de duração da jornada diária de trabalho expresso em horas ou minutos;

T_0 = 8 horas ou 480 minutos.

Fator de crista (FC): módulo da razão entre o máximo valor de pico de $a_j(t)$ e o valor de am_j , ambas ponderadas em frequência (FUNDACENTRO, 2013).

Valor da dose de vibração (VDV_j): corresponde ao valor obtido a partir do método de dose de vibração à quarta potência³ determinado na direção “j”, sendo que

“j” corresponde aos eixos ortogonais “x”, “y” ou “z”, expresso em m/s^{1,75}, definido pela expressão que segue (FUNDACENTRO, 2013):

$$VDV_j = \sqrt[4]{\int_0^t [a_j(t)]^4 dt} \quad [m / s^{1,75}]^3$$

Sendo:

$a_j(t)$ = aceleração instantânea ponderada em frequência;

t = tempo de duração da medição.

Valor da dose de vibração (VDV_{ji}): corresponde ao valor de dose de vibração, determinado na direção “j”, relativo às “s” amostras da componente de exposição “i” que foram mensuradas, definido pela expressão que segue (FUNDACENTRO, 2013):

$$VDV_{ji} = \left[\sum_{k=1}^s (VDV_{jik})^4 \right]^{1/4} \quad [m / s^{1,75}]$$

Sendo:

VDV_{jik} = valor de dose de vibração relativa à k-ésima amostra selecionada dentre as repetições da componente de exposição “i”;

s = número de amostras da componente de exposição “i” que foram mensuradas.

Valor da dose de vibração da exposição parcial (VDV_{expji}): corresponde ao valor de dose de vibração representativo da exposição ocupacional diária no eixo “j”, relativo à componente de exposição “i”, que pode ser obtido por meio da expressão que segue (FUNDACENTRO, 2013):

$$VDV_{expji} = f_j \times VDV_{ji} \times \left(\frac{T_{exp}}{T_{amos}} \right)^{1/4} \quad [m / s^{1,75}]$$

Sendo:

VDV_{ji} = valor da dose de vibração medido no eixo “j”, relativo à componente de exposição “i”;

T_{exp} = tempo total de exposição à vibração, ao longo de toda a jornada de trabalho, decorrente da componente de exposição “i” em estudo. Corresponde ao número de repetições da componente, vezes o seu tempo de duração;

T_{amos} = tempo total utilizado para a medição das “s” amostras representativas da componente de exposição “i”, em estudo, de acordo com a seguinte Equação (FUNDACENTRO, 2013):

$$T_{\text{amos}} = \sum_{k=1}^s T_k$$

Sendo:

T_k = tempo de medição relativo à k-ésima amostra selecionada dentre as repetições da componente de exposição “i”;

s = número de amostras da componente de exposição “i” que foram mensuradas;

f_j = 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”).

Valor da dose de vibração da exposição ($VDV_{\text{exp}j}$): corresponde ao valor de dose de vibração representativo da exposição ocupacional diária em cada eixo de medição, que pode ser obtido por meio da expressão que segue (FUNDACENTRO, 2013):

$$VDV_{\text{exp}j} = \left[\sum_{i=1}^m (VDV_{\text{exp}ji})^f \right]^{1/4} \quad [m / s^{1,75}]$$

Sendo:

$VDV_{\text{exp}ji}$ = valor da dose de vibração da exposição representativo da exposição ocupacional diária no eixo “j”, relativo à componente de exposição “i”;

m = número de componentes de exposição que compõem a exposição.

Valor da dose de vibração resultante ($VDVR$): corresponde ao valor da dose de vibração representativo da exposição ocupacional diária, considerando a resultante dos três eixos, que pode ser obtido por meio da expressão que segue (FUNDACENTRO, 2013):

$$VDVR = \left[\sum_j (VDV_{\text{exp}j})^f \right]^{1/4} \quad [m / s^{1,75}]$$


Sendo:

$VDV_{\text{exp}j}$ = valor da dose de vibração da exposição, representativo da exposição ocupacional diária no eixo “j”, sendo “j” igual a “x”, “y” ou “z”.

Pico máximo (PMX_j): Representa o valor mais alto da aceleração durante a medição na no eixo “j”, sendo “j” igual a “x”, “y” ou “z” (FUNDACENTRO, 2013).

Fonte: FUNDACENTRO, 2013.

ANEXO B – RELATÓRIO TÉCNICO REFERENTE A PESAGEM DO TRATOR

		FUNDAÇÃO NUCLEO DE TEC. IND. DO CEARÁ	
RUA PROFESSOR RÔMULO PROENÇA, S/N FORTALEZA		85 31012746	
RELATÓRIO TÉCNICO - Frenômetro			
Dados Veículo:		O.S:	Categoria do veículo: N2: 3,5t < comerciais < 12t
Marca: VALTRA	Modelo: BM 12D	Tipo:	
Placa:	Chassi:	Renavam:	
Data: 12/07/2017 - Horário Inicio: 11:01 - Fim: 11:03		Operador: EDUARDO MACEDO	
Dados Cliente:		UFC	Telefone:
Endereço:		Cidade:	
Alinhamento: m/km	Eixo: 1 -2		Limites 7 12
Freio Serviço		Eficiência freio = 0 %	
Força daN	Eixo: 1	Eixo: 2	
Esq.	0	0	
Dir.	0	0	
Deseq. %	0	0	20 35 20
Atrito:	0	0	
Desliz Esq.	0	0	
Desliz. Dir.	0	0	
Ader. Esq.	0	0	
Ader. Dir.	0	0	
Oval. Esq.			
Oval. Dir.			
Pedal N.			
Freio Estacionamento		Eficiência freio = 0 %	
Força daN	Eixo: 2		18
Esq.	0		
Dir.	0		
Deseq.	0		
Alavanca N			
Resultado Freio: INCOMPLETO		Resultado Alinhamento: APROVADO	
Pêso daN	Eixo: 1	Eixo: 2	
Esq.	1420	1800	
Dir.	1400	1720	
Pêso Estático Total: 0			
<small>Dados: Napro - DUOXP 3.13.2</small>			

Fonte: NUTEC (2017)

ANEXO C – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO MEDIDOR E DO ACELERÔMETRO

Quadro 4 - Características do medidor de vibração HD 2030 e do acelerômetro 356B41.

Medidor de vibração Delta OHM HD 2030	Acelerômetro 356B41
- Display gráfico de 128 x 64 pixel com luz de fundo	- Tipo: Acelerômetro tri-axial miniatura com eletrônico integrado (ICP™) inserido em um apoio emborrachado.
- Faixa de medição: 0,1 m/s ² a 7000 m/s ²	Pode ser usado, se instalado pelo apoio correto, para medições em assentos e assentos traseiros realizando testes nas vibrações emitidas.
- Normas: ISO 8041:2005 / ISO 5349-1:2001/ ISO 2631-1, 2, 4:1997 / IEC 61260:1995 classe 1	- Sensibilidade: 100 mV/g
- Modos de medição: Vibrações transmitidas à mão / Vibrações de corpo inteiro / Vibrações em edificações	- Faixa de medição: ±100 m/s ²
- Parâmetros de medição: RMS, VDV, MTVV, PICO, MAX. e MIN.	- Frequência de resposta (±5%): 0,5 Hz a 1 kHz
- Ponderação de frequência: Fz, Fc, Wh para vibrações transmitidas a mão / Fz, Fa, Wb, Wc, Wd, We, Wj, Wk para vibrações de corpo inteiro / Fz, Fm, Wm para vibrações em edificações	- Frequência ressonante: 27 kHz
- Faixa de linearidade: três faixas de 80dB sobrepostos por 70Db	- Linearidade: 1% F.S.
- Espectro de faixa de oitava ou um terço de oitava para cada eixo de medição.	- Sensitividade transversa: 5% max.
- Memória: Memória tipo FLASH interna 8MB e conector para cartão de memória tipo SD até 2GB.	- Impacto máximo: 2000 gpk
- Interface: Serial RS-232 e USB	- Temperatura de operação: -10 a 50°C
- Entrada/saída: Saída LINE para quatro canais de medição	- Tensão de polarização: 3,5 Vdc
- Alimentação: 4 pilhas alcalinas tipo "AA" 1,5V	
- Temperatura ambiente: -10 a 50°C	
- Umidade ambiente: <90% U.R.	
- Temperatura de armazenamento: -25 a 70°C	
- Dimensões: 240 x 95 x 50 mm	
- Peso: aprox. 680g	

Fonte: Delta OHM (2017).