

Acelerações eficazes na interface assento-operador de um trator

Effective accelerations in the seat-interface operator of an tractor

Marivan da Silva Pinho^I José Fernando Schlosser^{III} Ulisses Giacomini Frantz^{II}
Marcelo Silveira Farias^{II} Daniel Uhry^{II} Rodrigo Lampert Ribas^{II}

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo analisar as magnitudes das acelerações eficazes na interface assento-operador, utilizando três posições de regulagem do assento, duas profundidades de escarificação, duas velocidades de deslocamento e três configurações de lastros. O experimento foi realizado na Universidade Federal de Santa Maria com delineamento experimental de parcelas subdivididas, com quatro repetições, totalizando 144 unidades experimentais. Utilizou-se um trator agrícola, com potência no motor de 63kW (85cv), tendo um escarificador acoplado. Os dados foram registrados através de um acelerômetro triaxial posicionado na interface assento-operador. Concluiu-se que as magnitudes das acelerações eficazes obtidas, na interface assento-operador, em todos os 36 tratamentos, ficaram acima do limite de conforto na frequência de 1 a 80Hz, estabelecidas pela norma (International Organization for Standardization 2631-1: 1997) para exposição de oito horas diárias do operador.

Palavras-chave: trator, aceleração eficaz, assento.

ABSTRACT

This research has the main objective to analyze the magnitude of efficient accelerations on the seat-operator interface, using three adjustment knob positions, two scarification depths, two displacement speeds and three different ballast settings. The experiment was held at the Federal University of Santa Maria through a subdivided portion experimental design, with four repetitions and 144 experimental units. A agricultural tractor was used with 63kW of power on the engine (63kW) attached to the chisel plow. The information was recorded by the accelerometers that were installed on the seat-operator interface. It was concluded that the magnitude of efficient accelerations obtained on the seat-operator interface in all the 36 individual tests stayed above the comfort limit on the frequency of 1 to 80Hz, established by the standard

(International Organization for Standardization 2631-1: 1997) for daily eight hour exposure.

Key words: tractor, effective acceleration, seat.

INTRODUÇÃO

Na área de mecanização agrícola, cada vez mais se torna necessário o estudo das vibrações em tratores agrícolas, pois os resultados experimentais contribuem para o aperfeiçoamento no projeto dessas máquinas e, com isso, melhorar o conforto do operador durante a jornada de trabalho. Além dos efeitos nocivos causados pela falta de qualidade ergonômica dos postos de operação de tratores agrícolas, a elevada jornada de trabalho em que o operador se encontra nas atividades, torna-se bastante árdua, uma vez que ele está sujeito a poeiras, vibrações, intempéries e ruídos (IIDA, 2000).

A análise ergonômica do posto de operação de tratores agrícolas contribui para melhor proteção e conforto do operador (NIETIEDT et al., 2012). De acordo com IIDA (2000) e SILVA et al.(2011), os assentos, em geral, contribuíram de forma significativa para a mudança comportamental do homem, fornecendo-lhe maior estabilidade para o corpo, porém trouxe alguns malefícios de ordem ergonômica.

De acordo com GRIFFIN (1990) e BECKER (2006), é relatada a importância no desenvolvimento de novos projetos para assentos

^ICentro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 96010-610, Pelotas, RS, Brasil. E-mail: marivanpinho@hotmail.com. Autor para correspondência.

^{II}Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil.

^{III}Departamento de Engenharia Rural, Centro de Ciências Rurais (CCR), UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.

que minimizem os esforços e o estresse do operador na utilização de tratores agrícolas, sendo a massa do trator um fator preponderante na transmissão de vibrações da estrutura ao assento.

A massa dos tratores agrícolas tende a reduzir em virtude de obter-se menor custo de fabricação e, também, por possibilitar melhor versatilidade de execução em algumas operações. Quando há exigência de grandes esforços pelo trator, é necessária a adição de lastro, que é a massa que se acrescenta ou retira dos rodados e do suporte frontal do trator, a fim de promover maior estabilidade e rendimento operacional (SCHLOSSER et al., 2005). Essa adição de massa ao trator pode provocar efeitos no que tange à vibração e reflete-se na ergonomia do operador.

Nos tratores agrícolas, os assentos são fundamentais para a absorção da vibração oriunda da irregularidade do terreno, minimizando os efeitos negativos ao operador (ROTH, 2010). TEWARI & DEWANGAN (2009) e IIDA (2000) verificaram que o operador deve ficar em uma posição confortável no assento, em virtude do tempo prolongado da jornada de trabalho, e o assento deve ser projetado de forma a permitir que em torno de 90% da população consiga conduzir a máquina agrícola de forma adequada, sem comprometer a integridade física do indivíduo. Utilizando um trator acoplado a uma semeadora submetida a duas velocidades de deslocamento e três pressões de inflação nos pneus, com medições através de acelerômetros colocados no assento do trator, (FRANCHINI, 2007) verificou acelerações de 0,68 a 3,32ms⁻².

A vibração crítica que atinge o operador é transmitida através do assento, sendo a sua direção vertical a principal causa de problemas para a saúde do operador (FRANCHINI, 2007). Embora o meio de transmissão da vibração seja o assento, outros mecanismos influenciam na magnitude da vibração, como: pneus, coxins, amortecedor, posição de ajuste do assento, entre outros mecanismos (FRANCHINI, 2007; ROTH, 2010).

Este trabalho teve por objetivo analisar as magnitudes das acelerações eficazes nas direções longitudinal, transversal e vertical da interface assento-operador em função do tipo de lastragem, ajuste da rigidez da suspensão do assento, velocidade de deslocamento e profundidade de escarificação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, Brasil. As coordenadas geodésicas do

ponto médio são: 29° 43' 32,30" S e 53° 43' 14,62" O. O trator utilizado foi da marca Massey Ferguson, modelo MF4283 Cabinado, ano 2011, com tração dianteira auxiliar (TDA), com potência do motor de 63kW (85 cv) a 2200rpm, quatro cilindros e volume interno de 4100cm³. Os rodados utilizados no trator foram de pneus diagonais, com as seguintes características: traseiros 18.4-30 R1 de 10 lonas e dianteiros 12.4-24 R1 de 6 lonas TM 95.

Utilizou-se o escarificador da marca Jan, acoplado ao Sistema Hidráulico de Três Pontos (SHTP) do trator. Esse escarificador tem a seguinte especificação: três hastas em forma de curva parabólica, ponteira estreita de 0,08m sem asa, ângulo de ataque de 20° e duas rodas de ajuste de profundidade.

No experimento, foram utilizados quatro fatores de tratamento (tetra fatorial): 1) relação massa/potência e tipo de lastro; 2) ajuste de rigidez da suspensão do assento; 3) velocidade de deslocamento do trator; e 4) profundidade de escarificação.

Para o fator 1) foram utilizados três níveis, sendo Lastro Metálico Total (LMT) e Lastro Metálico Parcial (LMP), obtidos através da adição de pesos metálicos nos rodados e no suporte frontal do trator. Na obtenção do Lastro Hidráulico Total (LHT), foi adicionada água a 75% do volume interno dos pneus. Na tabela 1, são verificados os tratamentos e suas relações.

Para o fator 2), foram obtidos três níveis de rigidez de suspensão do assento, a partir da rotação do manípulo, sendo máxima, média e mínima rigidez. Para o fator 3), foram utilizados dois níveis, sendo de 3,5 e 4,5kmh⁻¹, proporcionadas pelas marchas 2ª reduzida baixa e 2ª reduzida alta, respectivamente, para uma mesma rotação do motor. Para o fator 4), foram utilizados dois níveis de profundidade de escarificação de 0,15 e 0,30m, obtidos através da alteração das rodas limitadoras de profundidade da haste do escarificador.

A combinação da condição experimental dos quatro fatores (3x3x2x2) gerou 36 tratamentos.

Tabela 1 - Tratamentos da relação massa/ potência e tipo de lastro.

Tratamento	-----Massa (kg)-----		MD/MT	kg kW ⁻¹
	Dianteiro	Traseiro		
LMT	1650	2560	0,39	49,4
LMP	1427	2233	0,39	43,5
LHT	1650	2520	0,41	50,2

LMT: lastro metálico total; LMP: lastro metálico parcial; LHT: lastro hidráulico total; MD: massa transferida ao eixo dianteiro; MT: massa total do trator; P: potência do trator.

A área experimental foi constituída em função do tempo de aquisição dos dados, sendo que, para cada tratamento, utilizaram-se quatro repetições, representando, assim, 144 unidades experimentais. Para cada tratamento, foi utilizada uma subparcela com as seguintes dimensões: 2,5m de largura e 100m de comprimento. O processo de casualização foi realizado para cada unidade experimental dentro do fator (tipo de lastragem) foi atribuído um nível da condição experimental. Cada um dos 36 tratamentos foi atribuído aleatoriamente em cada subparcela, sendo, 12 para o metálico total, 12 para metálico parcial e 12 para o hidráulico total, sendo, para o tratamento 1, as subparcelas sorteadas foram 8, 5, 1 e 4. Neste caso, o trator realizou o percurso nestas quatro subparcelas sem alteração do tratamento, e assim foi sucessivamente para os demais tratamentos.

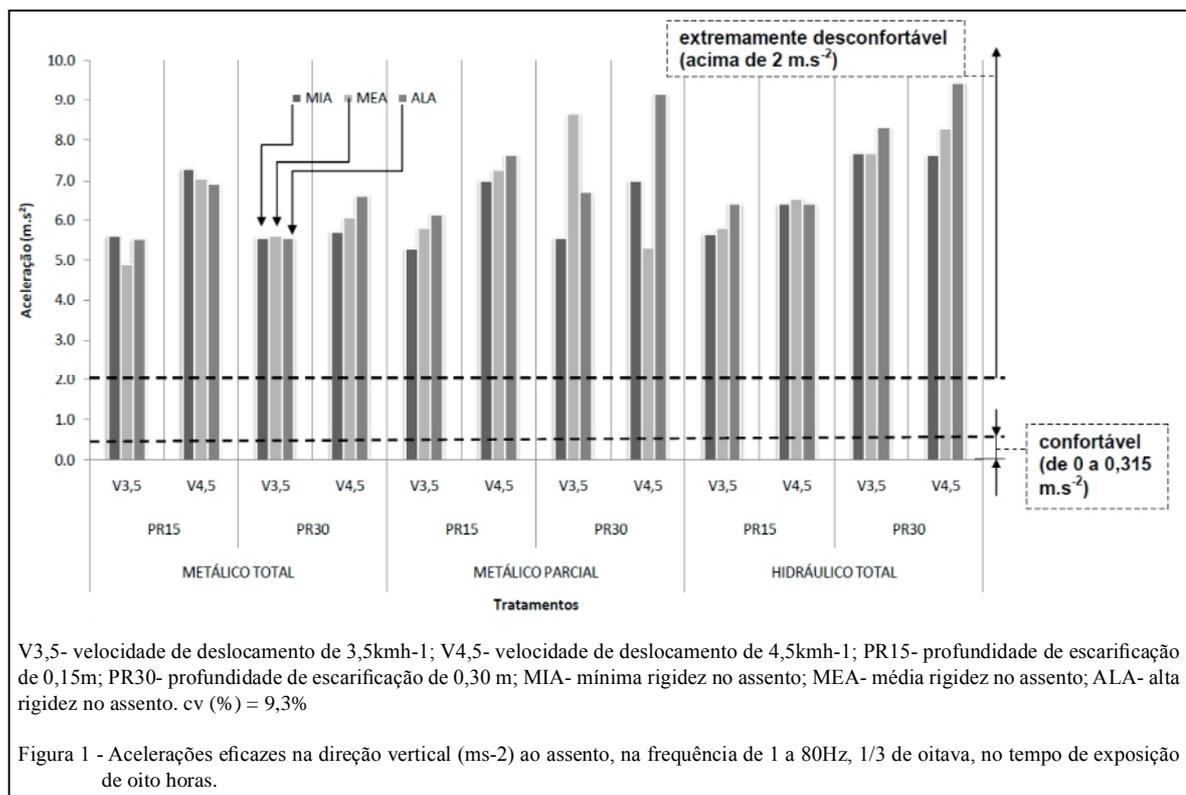
O programa utilizado para a análise estatística foi *software WinStat*, desenvolvido por MACHADO & CONCEIÇÃO (2003), sendo realizada a análise de variância e posterior teste de média. Para a obtenção da magnitude de vibração de corpo inteiro, foi utilizado o analisador de modelo portátil de especificação 4447 do fabricante *Bruel & Kjaer*. Nesse analisador, foi inserido um conector que é ligado, através de um cabo, ao acelerômetro triaxial de modelo *Type 4515* do fabricante *Bruel &*

Kjaer, sendo que este acelerômetro é encapsulado por um disco de borracha que fica na interface operador-assento. O analisador 4447 permite a verificação do nível de ação, que representa o valor total de vibração de $0,5\text{ms}^{-1}$ para exposição de 8 horas (DIRETIVA EUROPEIA, 2002/44/CE). O programa computacional Human Body Vibration (HBV) auxiliou na organização dos dados dos 36 tratamentos, permitindo simular as magnitudes de aceleração em 8 horas de exposição, uma vez que, no experimento, as magnitudes foram obtidas em intervalos de tempo de aproximadamente 120 segundos.

Os dados de aceleração do experimento foram confrontados com os índices de conforto estabelecidos pela norma ISO 2631-1: 1997, a qual estabelece a relação das acelerações com os índices de conforto humano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os valores médios das acelerações eficazes na direção vertical ao assento, verificou-se que todos os 36 tratamentos ficaram na faixa de extremamente desconfortável, cujo limite inicial é de $2,0\text{ms}^{-2}$ (ISO 2631-1: 1997). A utilização de lastro metálico total no trator proporcionou aceleração média de 6ms^{-2} significativo, se comparado com a média de $6,8\text{ms}^{-2}$ do lastro metálico parcial e $7,2\text{ms}^{-2}$ do hidráulico total, conforme a figura 1.



O que justifica os altos valores de magnitudes, em relação aos valores estabelecidos pela Norma ISO 2631-1:1997 se deve, principalmente, ao fato de o trator ter o escarificador acoplado a ele, formando um sistema único, o que intensifica os esforços, gerando, conseqüentemente, aumento da magnitude das vibrações. Em trabalho realizado por ROTH (2010), na maioria dos tratamentos, as acelerações ficaram entre os valores de $0,63\text{ms}^{-2}$ a $1,6\text{ms}^{-2}$, pertencendo à faixa de desconfortável. No entanto, o trator não possuía implemento acoplado e seu deslocamento era sobre solo preparado.

Utilizando um trator com potência no motor de $55,2\text{kW}$ (75cv) com uma grade niveladora em superfície arada, SANTOS (2002) verificou que a magnitude de aceleração na direção vertical ao assento ficou em torno de $2,5\text{ms}^{-2}$. Dessa forma, observa-se que o tipo de implemento e características do terreno influenciam nas magnitudes de vibrações.

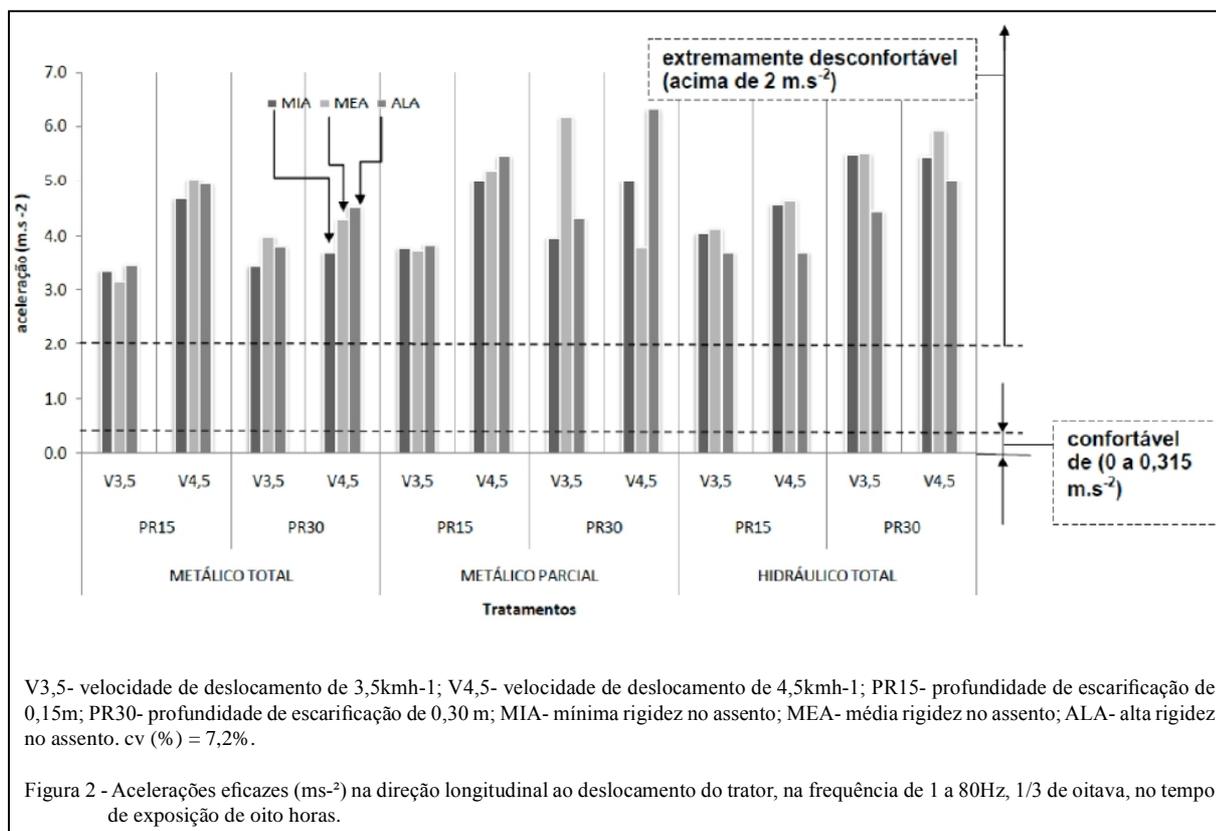
Na direção longitudinal da interface assento-operador, conforme figura 2, verificou-se que, em todos os tratamentos, os valores das acelerações ficaram na faixa de extremamente desconfortável, conforme a norma ISO 2631-1: 1997, no entanto, na comparação entre os tipos de lastragem, o uso do lastro metálico total produziu em média magnitudes

de $4,0\text{ms}^{-2}$, o metálico parcial e hidráulico total tiveram os valores médios de $4,7\text{ms}^{-2}$.

O que justifica os menores valores de vibração, quando se utiliza o lastro metálico total, é a relação massa/potência e o tipo de material do lastro, ou seja, a maior relação massa/potência promove maior tendência inercial em função da aceleração longitudinal ser inversamente proporcional à massa do trator e diretamente à força motora dele. Quando se utiliza a mesma relação massa/potência, mas utiliza-se o lastro hidráulico, observa-se que o movimento oscilatório da água no interior do pneu, na direção de deslocamento, produz um aumento da magnitude das acelerações.

Verificou-se que, quanto menor o atrito do escarificador com o solo a maior velocidade pode produzir maior amplitude de vibração para o conjunto trator implemento. Na avaliação de vibração na direção longitudinal, BARCELÓ et al.(2004) verificaram que, quando utilizam-se baixas e médias pressões nos pneus, não há necessidade de regulagem no assento, no entanto, para altas pressões, a regulagem no assento se faz necessária.

A vibração na direção longitudinal pode proporcionar sérios problemas na espinha dorsal. CUNHA (2009), em seu trabalho, relata que as



acelerações na direção longitudinal ultrapassaram os limites aceitáveis pela ISO 2631-1: 1997, sendo que os piores resultados foram na direção de deslocamento do trator, de forma que, quanto maior a rotação do motor maiores os níveis de vibração.

Não houve diferenças significativas das amplitudes nos níveis dos fatores rigidez do assento, profundidade de escarificação e velocidade de deslocamento. Observa-se que a alteração da rigidez no assento não minimizou o efeito das vibrações na direção transversal (Figura 3).

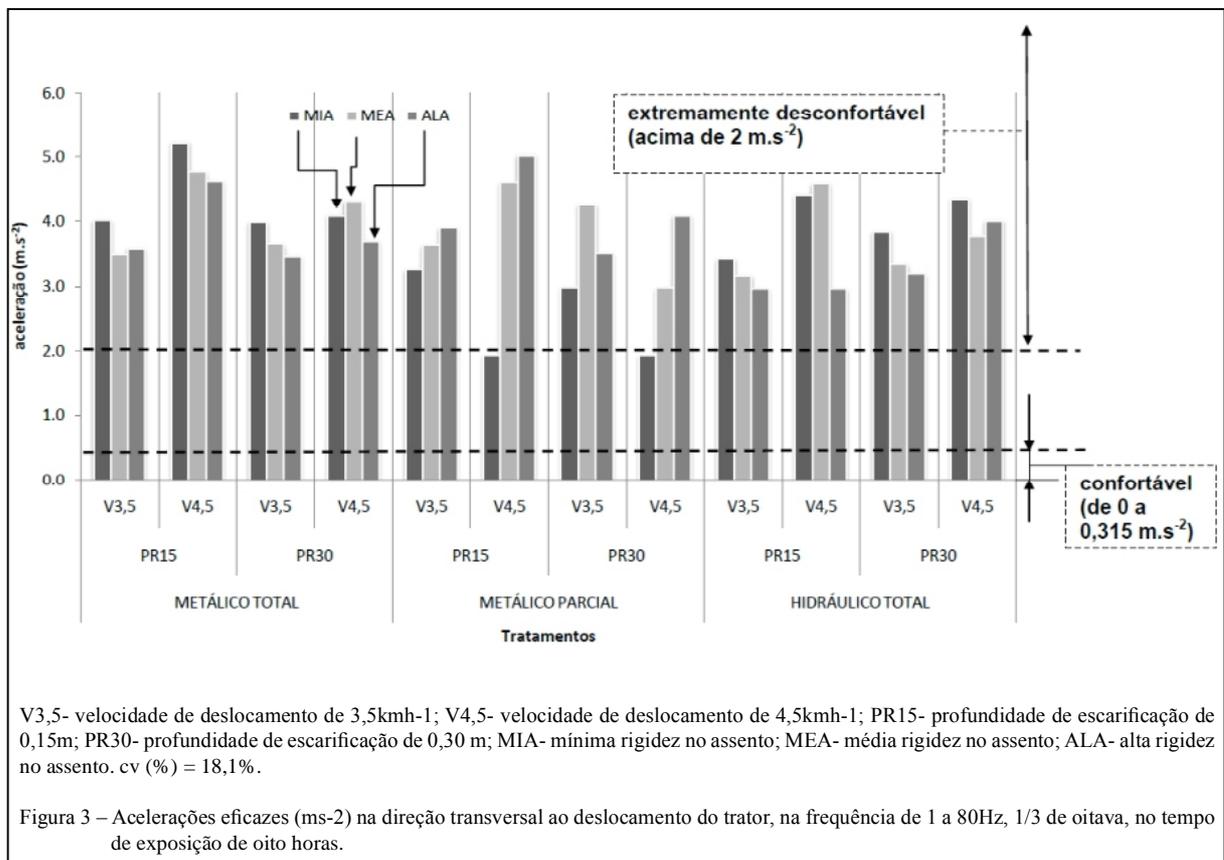
Na figura 4, verifica-se o comportamento da vibração nas três direções (x, y e z), observando-se que, independentemente dos tratamentos, a amplitude de vibração na direção z (vertical) foi maior, se comparada às outras duas direções. Na direção x (longitudinal), observa-se uma similaridade geométrica paralela com a direção z, porém com magnitudes menores, valores estes que divergem de CUNHA (2009), o qual obteve as maiores acelerações na direção x, a mesma de deslocamento do trator, comparado com as acelerações z (verticais) e y (transversais). CUNHA (2009) utilizou, no experimento, o trator Massey Ferguson 4x2, com potência de 60,35kW (82cv), sendo utilizados dois

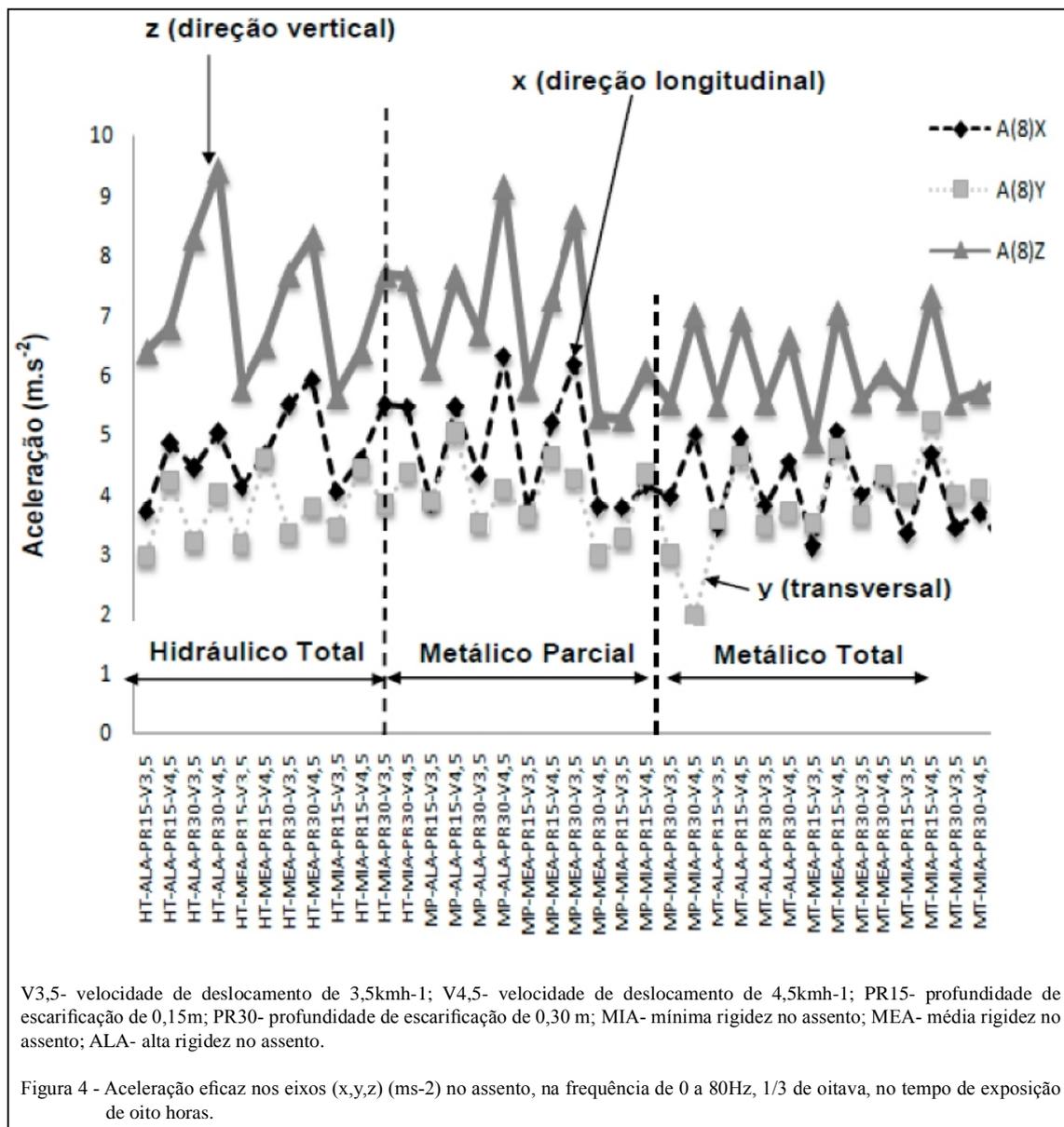
implementos: arado com profundidade de aração 0,2m e grade com 0,15m.

Os valores da magnitude de aceleração na direção x foram menores que do eixo z, no entanto, a comparação da relação massa/potência e material manteve uma proporção entre as magnitudes dos eixos. Com a velocidade de escarificação de 4,5kmh⁻¹, verificou-se maior magnitude de vibração, se comparado à velocidade de 3,5kmh⁻¹, isto se for analisado com a profundidade de 0,15m, independentemente dos tipos de lastragens. Com o trator em operação de aração e gradagem, CUNHA (2009) encontrou os maiores valores de magnitude no eixo x em relação à direção vertical z, estabelecendo, dessa forma, que diferentes operações interferem na intensidade e na direção de vibração.

CONCLUSÃO

Em todos os 36 tratamentos, as magnitudes das acelerações eficazes obtidas na interface assento-operador ficaram acima do limite de conforto na frequência de 1 a 80Hz, estabelecidas pela norma ISO 2631-1: 1997 para exposição diária de 8horas. Os maiores valores das acelerações eficazes foram,





respectivamente: na direção vertical, longitudinal e transversal da interface assento-operador.

Os níveis de rigidez do assento produziram as maiores variações de aceleração com a utilização da Lastragem Metálica Parcial, se comparado com as demais lastragens. A utilização da Lastragem Metálica Total produziu as menores magnitudes de acelerações, independente das direções, se comparado com as demais lastragens. A velocidade de 4,5km h⁻¹ proporcionou um aumento de 13,5% maior de acelerações do que a velocidade de 3,5km h⁻¹, na direção vertical.

REFERÊNCIAS

BARCELÓ, L.E. et al. **Efecto de diferentes presiones de inflado y regulaciones de lasiento sobre las vibraciones de cuerpo entero em tractores agrícolas.** Instituto de Ingenieria Rural Inta Cautelar, 2004. 10p. Disponível em: <<http://www.inta.gov.ar/index.html>>. Acesso em: 01 jan. 2011.

BECKER, T. **Desenvolvimento de uma mesa vibratória para estudos sobre vibração no corpo humano.** 2006.198f.Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.

CUNHA, J.P. Avaliação dos níveis de vibração e ruído emitidos por um trator agrícola em preparo do solo. **Revista Pesquisa Agropecuária**, v.39, n.4, p.348-355, 2009.

- Diretiva Europeia 2002/44/EC -**On the Minimum Health and Safety Requirements Regarding the Exposure of Workers to the Risk Arising From Physical Agents (Vibration)**. Directive European Parliament and of the Council, 2002.
- FRANCHINI, D. **Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trator agrícola**. 2007. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, RS.
- GRIFFIN, M.J. **Handbook of human vibration**. Academic, 1990.
- IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 6.ed. São Paulo: E. Blucher, 2000. 466p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 2631-1: Mechanical Vibration and Shock - Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part 1: General Guidelines**. Geneva, 1997. 31p.
- MACHADO, A.; CONCEIÇÃO, A.R. **Sistema de análise estatística para Windows**. WinStat. Pelotas: UFPel, 2003. Versão 2.0.
- NIETIEDT, G.H. et al. Distribuição dos comandos de operação em tratores agrícolas nacionais com até 55kW de potência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.6, p.690-695, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000600015>>. Acesso em: 26 jan. 2014. doi: 10.1590/S1415-43662012000600015.
- ROTH, C.W. **Transmissibilidade da vibração e distribuição da pressão na interface assento-operador de tratores agrícolas em condições dinâmicas**. 2010. 142f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, RS.
- SANTOS, P.F. **Avaliação dos níveis de ruído e vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automática de dados**. 2002. 53f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, MG.
- SCHLOSSER, J.F. et al. Análise comparativa do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso. **Ciência Rural**, v.35, n.1, p.92-97, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000100014>>. Acesso em: 26 jan. 2014. doi: 10.1590/S0103-84782005000100014.
- SILVA, C.B. et al. Avaliação ergonômica de uma colhedora de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.1, p.179-185, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000100023>>. Acesso em: 26 jan. 2014. doi: 10.1590/S1413-70542011000100023.
- TEWARI, V.K.; DEWANGAN, K.N. Effect of vibration isolators in reduction of work stress during field operation of hand tractor. **Biosystems Engineering**, v.103, n.2, p.146-158, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.03.002>>. Acesso em: 26 jan. 2014. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2009.03.002.