

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE VIBRAÇÃO E RUÍDO EMITIDOS POR UM TRATOR AGRÍCOLA EM PREPARO DE SOLO¹

João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha², Marcus Antonio Viana Duarte³, Jomara Cynthia Rodrigues³

ABSTRACT

NOISE AND VIBRATION LEVEL
EVALUATION OF A TRACTOR IN SOIL TILLAGE

Vibration and noise may cause irreversible injuries to tractor drivers. This study evaluated the vibration and noise levels emitted by a tractor in soil tillage and compared results to conformance standards. An agricultural Massey Ferguson 4x2 tractor, model MF290, without cabin, was used, working with a plough and a disc harrow, at motor rotations of 1,700 rpm; 1,850 rpm; and 2,000 rpm. The noise evaluations were made with a sound level meter, at the driver position. The vibration evaluations were made on the driving seat, using an automatic acquisition data system with three accelerometers, in the vertical and horizontal planes. The results showed that the soil tillage service presented noise levels higher than the 85 dB(A) limit for 8 hours of daily exposure, as established by the Brazilian legislation on insalubrity. A need for hearing protection device use, by machine operators, was observed. In these operations, the vibration levels could compromise driver health, safety, comfort, and efficiency. The accelerations in the tractor displacement axle were greater than the accelerations in the vertical and transversal axles.

KEY-WORDS: Ergonomics; occupational health; agricultural machines.

RESUMO

A vibração e o ruído podem causar danos irreversíveis aos operadores de tratores agrícolas. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar os níveis de vibração e ruído emitidos por um trator, em operação de aração e gradagem, comparando-se os resultados com as normas vigentes. Nas avaliações, foi utilizado um trator agrícola Massey Ferguson 4x2, modelo MF290, sem cabine, trabalhando com arado e grade, nas rotações de 1.700 rpm, 1.850 rpm e 2.000 rpm. As avaliações de ruído foram feitas com medidor de pressão sonora (decibelímetro), no posto de operação da máquina. As avaliações de vibração foram feitas no assento do trator, utilizando-se sistema de aquisição automática de dados, com três acelerômetros, nos sentidos vertical e horizontal. Os resultados permitiram as seguintes conclusões: as operações de aração e gradagem apresentaram níveis de ruído acima do limite de 85 dB(A), para 8 horas de exposição diária, estabelecido pela NR-15, fazendo-se necessário o uso de dispositivos de proteção auricular, durante sua execução. Nestas operações, o tratorista esteve exposto a níveis de vibração que comprometem sua saúde, segurança, conforto e eficiência. As acelerações, no sentido do deslocamento do trator, mostraram-se bem superiores às acelerações verticais e transversais ao sentido de deslocamento do trator.

PALAVRAS-CHAVE: Ergonomia; saúde ocupacional; máquinas agrícolas.

INTRODUÇÃO

A mecanização agrícola é essencial na agricultura moderna. Atividades como preparo de solo, adubação, pulverização e colheita, que eram realizadas somente com trabalho manual e animal, hoje são desenvolvidas com o auxílio de máquinas. Isso ajuda a garantir melhores produtividades e permite o cultivo de maiores áreas.

Entende-se o preparo periódico do solo como o conjunto de operações realizadas com equipamentos mecânicos criados para se conseguir um melhor de-

envolvimento das sementes e das plantas cultivadas no solo (Salvador et al. 2008). No entanto, existem, também, certas desvantagens na utilização dessas máquinas. O operador está exposto a poeira, insolação, vibração, calor, gases do motor, insetos, defensivos agrícolas e altos níveis de ruído provenientes dessas máquinas.

O ruído é uma onda sonora, ou um complexo de ondas, que pode causar sensação de desconforto e gradual perda da sensibilidade auditiva. O risco de problemas auditivos é determinado pelo nível de som, frequência e tempo de exposição. Simone

1. Trabalho recebido em ago./2009 e aceito para publicação em nov./2009 (nº registro: PAT 6927).

2. Universidade Federal de Uberlândia, Campus Umuarama, Instituto de Ciências Agrárias, Uberlândia, MG, Brasil.

E-mail: jpcunha@iciag.ufu.br.

3. Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica, Faculdade de Engenharia Mecânica, Uberlândia, MG, Brasil.

E-mails: mvduarte@mecanica.ufu.br, jomamarodriguescunha@yahoo.com.br.

et al. (2006) citam que os ruídos vêm de diferentes fontes nas máquinas agrícolas. O escape, que causa ruído de grande intensidade, é responsável por 45% a 60% do ruído total. As demais fontes são aspiração (15-20%), ventilador (12-20%) e vibração (15-20% do ruído total).

Santos Filho et al. (2004), Dewangan et al. (2005) e Cunha & Teodoro (2006) avaliaram os ruídos causados por máquinas agrícolas e concluíram que as operações foram extremamente desconfortáveis para o operador. Mesmo com o uso de protetores auriculares, ainda podem ser notados riscos à saúde. Rodrigues et al. (2006) avaliaram a eficácia de protetores pequenos, médios e grandes e concluíram que o protetor, para a devida proteção, precisa ser específico em tamanho, para cada operário.

De maneira geral, o limite de ruído ocupacional, na maioria dos países, encontra-se entre 85 dB(A) e 90 dB(A). Acima deste limite, corre-se o risco de modificar o limiar auditivo dos indivíduos expostos ao ruído, principalmente durante longos períodos de tempo, causando hipoacusia (Merluzzi et al. 1987).

Além do ruído, os tratores agrícolas em circulação no país, na sua maioria, apresentam problemas de conforto e segurança para os operadores. Os tratores, em geral, produzem vibrações de baixa frequência, que são transmitidas para o posto do operador (Servadio et al. 2007). Estas frequências podem gerar problemas de visão, irritabilidade, deformações lombares e problemas digestivos. Devem, portanto, ser eliminadas, ou reduzidas, tanto quanto possível.

Na prática, as vibrações consistem de uma mistura complexa de diversas ondas, com frequências e direções diferentes. A partir da análise desses componentes, é possível calcular o nível médio das vibrações. Contudo, alguns trabalhos realizados nesta área consideram apenas a vibração vertical (Fernandes et al. 2003, Santos Filho et al. 2003, Franchini 2007), o que dificulta determinar o impacto dessas ondas no corpo humano e sua mitigação. De acordo com Tewari & Dewangan (2009), a redução da vibração, além de diminuir o estresse do operador, permite melhorar sua qualidade de vida.

Assim, há necessidade do desenvolvimento de pesquisas que permitam compreender como a vibração tridimensional nas máquinas agrícolas é transmitida ao corpo humano (Tiemessen et al. 2007). Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar os níveis de vibração e ruído emitidos por um trator, tracionando um arado de discos e uma grade,

em diferentes rotações do motor, comparando-se os resultados com as normas vigentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de avaliação dos níveis de ruído e vibração, emitidos por um conjunto trator-implemento, foram realizados em área experimental da Fazenda Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, localizada no município de Uberlândia (MG). O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (Embrapa 1999), com textura superficial muito argilosa. No momento do ensaio, o solo apresentava umidade de 18,3% (0,183 g g⁻¹).

As avaliações foram feitas em três rotações do motor do trator (1.700 rpm, 1.850 rpm e 2.000 rpm), empregando-se arado e grade, sendo o arado de três discos lisos fixos (26") e a grade destorroadora-niveladora off-set de 14 discos (28"). Empregou-se um trator agrícola Massey Ferguson 4x2, modelo MF290, ano 1988, com motor do ciclo Diesel de quatro cilindros, com potência de 60,35 kW (82 cv). A aração foi feita a 0,2 m de profundidade e a gradeagem a 0,15 m.

O trator apresentava pneus traseiros Pirelli TM 95 - 18.4 - 34, com dez lonas, juntamente com dois lastros de 50 kg e $\frac{3}{4}$ de água em cada pneu, à pressão de 97 kPa (14 psi), e pneus dianteiros Pirelli TD 500 - 7.50 - 18, à pressão de 276 kPa (40 psi), com 6 lastros metálicos frontais de 15 kg.

Antes do início de cada ensaio, foi medido o ruído de fundo, velocidade do vento, umidade e temperatura do ar. Foi utilizado um protetor de ventos, junto ao microfone do medidor de pressão sonora, com o intuito de se uniformizar as condições de leitura e evitar a influência de possíveis rajadas de vento.

Foi utilizado um medidor de pressão sonora (Decibelímetro 2236, Bruel & Kjaer), calibrado anteriormente (Calibrador de microfones CAL200, Larson Davis), no circuito de resposta lenta (slow) e curva de ponderação "A". As leituras foram realizadas próximas ao ouvido do operador, no lado correspondente ao escapamento de saída dos gases do motor. Não foram feitas avaliações em diferentes distâncias, em relação ao trator, tendo-se em vista que, durante as operações de preparo de solo, não é comum a permanência de auxiliares próximos a ele. O tempo de aquisição para integração dos dados foi de 10 minutos, em situação semelhante de trabalho, para cada condição.

Foram determinados L10, L50, L90, Leq e nível máximo de ruído. Os níveis denominados L10, L50 e L90 representam os valores acima dos quais os demais níveis permanecem durante 10%, 50% e 90% do tempo total, respectivamente. O nível sonoro médio integrado, durante os dez minutos avaliados, é denominado nível sonoro equivalente (Leq). Este foi submetido a análise de regressão, em função da rotação do motor. A partir dos valores de Leq, foram analisados os tempos de exposição máxima que o operador poderia ficar exposto, sem o uso de protetores auriculares, de acordo com a NR-15 (Brasil 2009).

Com relação à avaliação de vibração, a grandeza primária utilizada foi a aceleração, expressa em $m\ s^{-2}$, baseada na norma ISO 2631 (ISO 1978). Foram utilizados três acelerômetros (PCB, sendo dois 352C67 e um 352C22), um condicionador de sinal e um sistema de aquisição automática de dados, composto por um conversor A/D (National Instruments, tipo USB 9233) e um microcomputador. Os três acelerômetros foram, previamente, calibrados, utilizando-se um calibrador de acelerômetros (Tipo 4294, Bruel & Kjaer). Após a aquisição, os dados foram processados, utilizando-se o *software* AQUIS IV - CVRI, e os resultados das acelerações RMS das vibrações determinados, em função da frequência, em bandas de 1/3 de oitava.

Os acelerômetros foram posicionados junto a uma placa metálica, colocada entre o assento original do trator e o tratorista, cuja massa era de 63 kg. Dois acelerômetros foram colocados na horizontal, defasados de 90° (sentido do deslocamento do trator - ay e transversal ao deslocamento - ax), e um na vertical (sentido az). O tempo total de aquisição foi

de 10 minutos, com o trator operando em condições semelhantes, sendo que os sinais foram adquiridos com uma frequência de aquisição de 4.096 Hz. Os níveis de aceleração, em bandas de 1/3 de oitava, centradas entre 1 Hz e 100 Hz, foram estimados via análise espectral, utilizando-se 8.192 pontos, com uma sobreposição de 50%. Os resultados obtidos foram comparados com a norma ISO 2631 (ISO 1978).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos níveis de ruído emitidos pelo trator, trabalhando com o arado e a grade, estão expostos na Figura 1. Em todos os resultados analisados, não foi necessário fazer correção do ruído de fundo, uma vez que o mesmo ficou em torno de 30 dB(A), abaixo dos níveis de ruído gerados pelo trator e implementos.

De maneira geral, os valores dos níveis sonoros, distribuídos no tempo (L10, L50 e L90), estiveram próximos, sendo o nível sonoro equivalente, então, uma boa medida para estudo do potencial de lesão auditiva. Em todas as condições estudadas, o Leq foi superior a 85 dB(A), que é a dose máxima permitida, para uma jornada de trabalho de oito horas.

Vale ressaltar, também, que os valores máximos encontrados, em algumas condições, estiveram acima de 115 dB(A), valor limite para trabalho sem protetor auricular (Brasil 2009). Trabalhando com o arado e rotação do motor de 2.000 rpm, o conjunto apresentou pico de ruído de 130,4 dB(A). O aumento da rotação de trabalho do trator levou ao incremento dos níveis de ruído. A operação de gradagem proporcionou os maiores níveis de ruído.

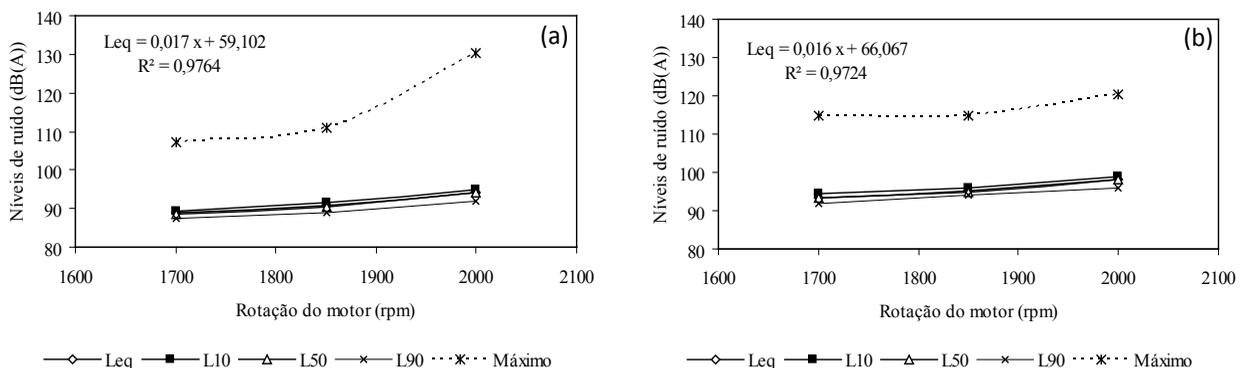


Figura 1. Níveis de ruído (dB(A)) emitido pelo trator, durante a operação com arado de discos (a) e grade (b), em diferentes rotações do motor.

Na Tabela 1, é apresentado o tempo laborativo máximo diário permitido para um trabalhador, considerando-se o nível sonoro equivalente, de acordo com cada situação de trabalho avaliada, e a falta de protetor auricular, levando-se em conta a norma NR-15 (Brasil 2009). Analisando-se os valores encontrados, percebe-se a necessidade de conscientização dos operadores, quanto à importância da utilização dos equipamentos de proteção individual, e também daqueles que trabalham próximos às máquinas. Utilizando-se a grade e rotação do motor de 2.000 rpm, o operador não pode trabalhar mais de 1 hora de forma contínua, sem a utilização de protetor auricular.

Apesar de alguns modelos de protetores auriculares permitirem níveis de redução de ruído superior a 20 dB(A), Pessina & Guerretti (2000), avaliando a eficiência de vários dispositivos para a redução de ruído no ouvido de operadores de tratores agrícolas, concluíram que, em média, os dispositivos de proteção auricular permitem uma atenuação do nível de ruído na ordem de 10 dB(A). Considerando-se este valor, é possível perceber que, de fato, os níveis de ruído observados, em algumas condições, encontram-se muito elevados. Dependendo da qualidade do protetor auricular e da forma e tempo de utilização, mesmo com o emprego desse dispositivo poderá haver desconforto e dano à saúde do trabalhador. Outra alternativa para se reduzir o problema seria a utilização de cabines. Franklin et al. (2006) mostraram que as cabines nos tratores podem reduzir o nível de ruído em 16 dB(A).

Os valores de vibração (bandas de 1/3 de oitava), medidos para as três direções, são mostra-

dos nas Tabelas 2 e 3. Para fins de comparação, nas Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7 estão dispostos os valores de aceleração medidos e os valores recomendados pela norma ISO 2631 (ISO 1978), para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER), para oito horas de exposição.

Com base na análise dos dados e utilizando-se os critérios do nível reduzido de eficiência, os níveis de vibração foram inferiores aos limites estabelecidos para oito horas de trabalho, nos três sentidos avaliados, para o trator operando a 1.700 rpm, com o arado de disco. No entanto, a 1.850 rpm e 2.000 rpm, no sentido do deslocamento do trator (ay), os níveis de vibração excedem os limites de exposição diária de 8 horas, chegando, em algumas frequências, a valores não aceitáveis para o trabalho. Provavelmente, a somatória da vibração do trator às oscilações do terreno deve ter contribuído para os resultados apresentados. Trabalhando com a grade, nota-se o mesmo comportamento das vibrações. No entanto, o limite máximo de vibração é excedido, nas três rotações avaliadas, considerando-se a aceleração no sentido do deslocamento do trator.

Considerando-se os critérios do limite de exposição (saúde e segurança), nota-se que o limite de vibração, para oito horas diárias, é ultrapassado a 1.850 rpm e 2.000 rpm, para o arado, e a 1.700 rpm, 1.850 rpm e 2.000 rpm, para a grade, no sentido ay, chegando-se, inclusive, a valores não aceitáveis, em algumas frequências, a 2.000 rpm. Nas demais condições (az e ax), o trabalho por oito horas é permitido com arado e grade.

Levando-se em conta o nível de conforto reduzido, para a grade e para o arado, nota-se que, nas três rotações analisadas, há situações em que a vibração excede o limite para oito horas diárias de trabalho. As piores situações também aconteceram no sentido do deslocamento do trator, à medida em que se aumentou a rotação do motor. Estes resultados estão de acordo com o trabalho de Scarlett et al. (2007). Os autores também encontraram níveis de vibração mais elevados na horizontal do que na vertical, ensaiando diversos tratores. Eles atribuem isso à inabilidade da suspensão dos assentos de trator em atenuar a vibração no sentido horizontal. Os autores afirmam, ainda, que a intensidade da vibração está diretamente ligada à operação que está sendo realizada.

Diante dos resultados encontrados, percebe-se a necessidade de se aprofundar os estudos das

Tabela 1. Tempos de exposição diária máxima permissível, de acordo com os níveis de ruído emitidos pelo trator, durante a operação com arado de discos e grade, em diferentes rotações do motor, considerando-se o nível sonoro equivalente e a ausência de protetor auricular.

Implemento	Rotação do motor	Tempo de exposição
	rpm	
Arado	1.700	4 h e 30 min
	1.850	3 h e 30 min
	2.000	2 h e 15 min
Grade	1.700	2 h e 15 min
	1.850	1 h e 45 min
	2.000	1 h

Tabela 2. Valores RMS, para as acelerações obtidas durante a operação do conjunto trator e arado de discos, em diferentes rotações do motor.

Frequência	1.700 rpm			1.850 rpm			2.000 rpm		
	Assento vertical (az)	Assento horizontal (ax)	Assento horizontal (ay)	Assento vertical (az)	Assento horizontal (ax)	Assento horizontal (ay)	Assento vertical (az)	Assento horizontal (ax)	Assento horizontal (ay)
Hz	m s ⁻²								
1,00	0,2761	0,0642	0,0660	0,1131	0,0941	1,3940	0,1950	0,1284	32,7627
1,25	0,2449	0,0593	0,0694	0,1157	0,0880	1,0015	0,2006	0,1139	37,6747
1,60	0,1690	0,0710	0,0748	0,1374	0,0891	0,7462	0,2188	0,0999	38,7228
2,00	0,1225	0,0460	0,0518	0,1037	0,0574	0,7600	0,1630	0,0668	30,9722
2,50	0,1373	0,0416	0,0409	0,0813	0,0532	0,6169	0,1450	0,0605	32,5637
3,16	0,1444	0,0391	0,0346	0,0644	0,0513	0,7611	0,1312	0,0620	24,5016
4,00	0,1026	0,0354	0,0326	0,0614	0,0456	0,5336	0,0977	0,0466	21,4069
5,00	0,1015	0,0451	0,0417	0,0686	0,0602	0,5645	0,0869	0,0464	18,6320
6,00	0,0538	0,0289	0,0342	0,0502	0,0365	0,6599	0,0886	0,0484	18,6546
8,00	0,0441	0,0236	0,0315	0,0353	0,0284	0,5418	0,0465	0,0314	18,4711
10,00	0,0268	0,0192	0,0262	0,0231	0,0253	0,5034	0,0296	0,0364	19,9566
12,50	0,0207	0,0192	0,0224	0,0176	0,0220	0,6077	0,0218	0,0353	19,9488
16,30	0,0252	0,0184	0,0494	0,0183	0,0148	0,9894	0,0198	0,0222	22,2532
20,00	0,0241	0,0206	0,0381	0,0206	0,0213	0,9721	0,0242	0,0270	21,1242
25,00	0,0998	0,1990	0,0495	0,1056	0,1689	0,7292	0,0207	0,0443	19,9366
31,60	0,0426	0,0537	0,0269	0,0940	0,1475	0,8834	0,0976	0,3244	24,3033
40,00	0,1156	0,0337	0,0717	0,0643	0,0357	0,8978	0,0347	0,0706	22,3767
50,00	1,5871	0,3000	0,8640	1,0241	0,3868	1,5114	0,1022	0,1249	27,6532
63,00	0,4003	0,1003	0,2674	0,8833	0,3719	2,7424	0,3773	1,3208	115,6230
80,00	0,0607	0,1686	0,4096	0,0587	0,1161	1,4643	0,0716	0,2563	36,2999
100,00	0,1188	0,2825	0,6926	0,1152	0,1877	1,5448	0,0537	0,1870	30,5392

Tabela 3. Valores RMS, para as acelerações obtidas durante a operação do conjunto trator e grade, em diferentes rotações do motor.

Frequência	1.700 rpm			1.850 rpm			2.000 rpm		
	Assento vertical (az)	Assento horizontal (ax)	Assento horizontal (ay)	Assento vertical (az)	Assento horizontal (ax)	Assento horizontal (ay)	Assento vertical (az)	Assento horizontal (ax)	Assento horizontal (ay)
Hz	m s ⁻²								
1,00	0,1522	0,1744	4,2116	0,1037	0,1789	10,9616	0,1313	0,1784	9,7775
1,25	0,1333	0,1297	3,2045	0,0766	0,1160	5,1246	0,1052	0,1379	4,6889
1,60	0,1325	0,1272	4,4763	0,0741	0,1142	5,9495	0,0948	0,1175	5,6325
2,00	0,0954	0,0845	3,4506	0,0574	0,0845	5,5834	0,0705	0,0919	4,7024
2,50	0,1081	0,0695	3,1087	0,0635	0,0775	4,2861	0,0782	0,0903	3,9785
3,16	0,1075	0,0591	2,7176	0,0680	0,0564	3,8313	0,0841	0,0689	3,1641
4,00	0,0893	0,0408	2,7673	0,0602	0,0391	3,4806	0,0738	0,0481	2,6724
5,00	0,0647	0,0304	2,3370	0,0473	0,0287	3,5272	0,0522	0,0326	2,4209
6,00	0,0466	0,0248	1,5949	0,0372	0,0232	3,7504	0,0378	0,0248	2,2783
8,00	0,0367	0,0238	1,6228	0,0340	0,0224	3,8791	0,0395	0,0263	2,6305
10,00	0,0266	0,0236	1,5599	0,0249	0,0230	3,7180	0,0302	0,0295	2,9193
12,50	0,0295	0,0307	1,8792	0,0253	0,0295	3,8411	0,0302	0,0273	3,5774
16,30	0,0384	0,0223	1,9905	0,0321	0,0265	3,9168	0,0350	0,0215	4,1425
20,00	0,0242	0,0222	2,2013	0,0211	0,0216	4,2219	0,0206	0,0172	3,6993
25,00	0,1008	0,1805	2,4290	0,0903	0,1665	6,4051	0,0248	0,0441	3,8790
31,60	0,0466	0,0587	2,1873	0,0683	0,1137	6,5467	0,1333	0,3011	6,3887
40,00	0,1275	0,0409	2,8659	0,0828	0,0396	5,8188	0,0371	0,0472	4,9720
50,00	1,8219	0,3675	7,0651	1,3902	0,4110	15,1629	0,1760	0,1126	6,8341
63,00	0,5427	0,1362	4,3593	0,9614	0,3011	13,2556	0,9530	0,8397	24,1121
80,00	0,1054	0,1272	4,2302	0,0814	0,1421	9,8232	0,1239	0,1305	8,4461
100,00	0,1517	0,2284	6,2196	0,1237	0,2037	13,7319	0,1037	0,2313	9,7664

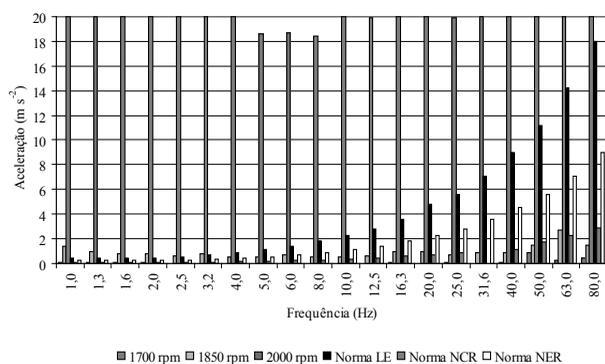


Figura 2. Aceleração (eixo ay), em função da frequência, em bandas de 1/3 de oitava, para as três rotações do trator tracionando o arado, considerando-se oito horas de trabalho e o permitido pela norma ISO 2631, para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

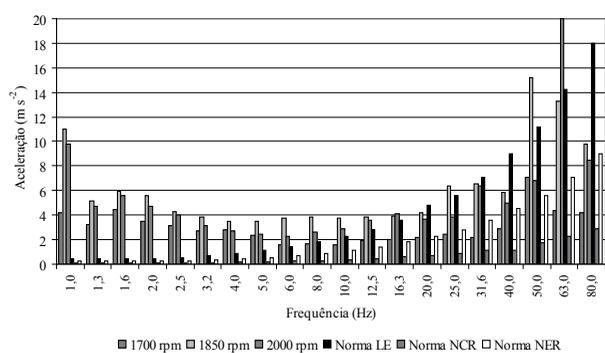


Figura 5. Aceleração (eixo ay), em função da frequência, em bandas de 1/3 de oitava, para as três rotações do trator tracionando a grade, considerando-se oito horas de trabalho e o permitido pela norma ISO 2631, para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

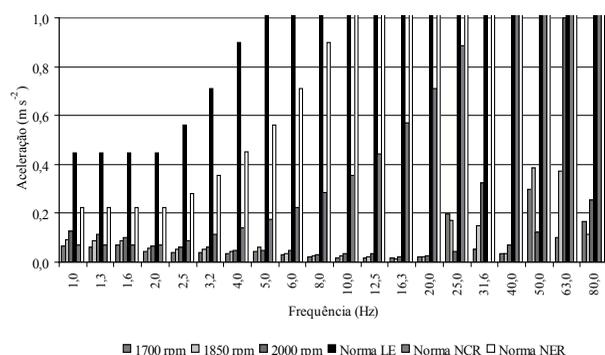


Figura 3. Aceleração (eixo ax), em função da frequência, em bandas de 1/3 de oitava, para as três rotações do trator tracionando o arado, considerando-se oito horas de trabalho e o permitido pela norma ISO 2631, para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

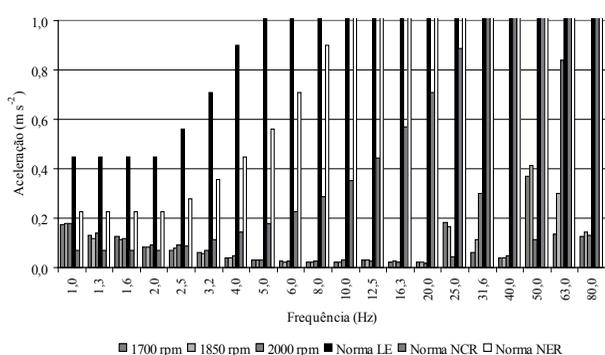


Figura 6. Aceleração (eixo ax), em função da frequência, em bandas de 1/3 de oitava, para as três rotações do trator tracionando a grade, considerando-se oito horas de trabalho e o permitido pela norma ISO 2631, para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

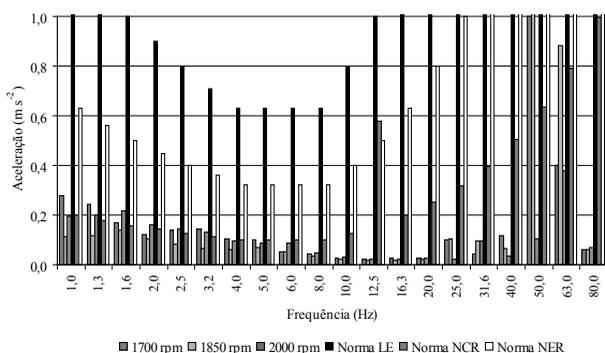


Figura 4. Aceleração (eixo az), em função da frequência, em bandas de 1/3 de oitava, para as três rotações do trator tracionando o arado, considerando-se oito horas de trabalho e o permitido pela norma ISO 2631, para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

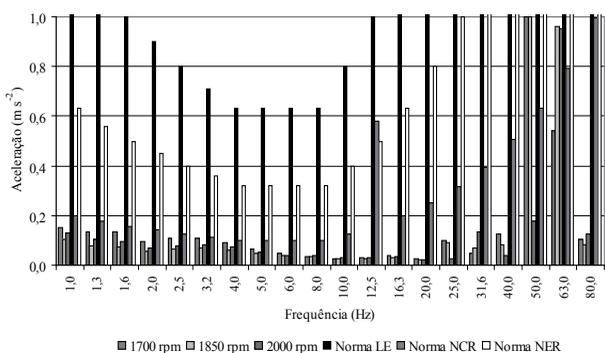


Figura 7. Aceleração (eixo az), em função da frequência, em bandas de 1/3 de oitava, para as três rotações do trator tracionando a grade, considerando-se oito horas de trabalho e o permitido pela norma ISO 2631, para limite de exposição (LE), nível de conforto reduzido (NCR) e nível de eficiência reduzida (NER).

fontes de vibração nos tratores agrícolas, de forma a melhorar a condição de trabalho para o operador. É preciso conhecer a fonte das vibrações e os sistemas, principalmente o assento, para atenuar seu efeito no corpo do operador.

O corpo humano reage às vibrações de formas diferentes. A sensibilidade às vibrações longitudinais é distinta da sensibilidade transversal. Em cada direção, a sensibilidade também varia com a frequência, isto é, a aceleração tolerável para determinada frequência é diferente daquela em outra frequência. Frequências abaixo de 1 Hz causam enjoos, enquanto as frequências entre 3 Hz e 8 Hz afetam os intestinos e a coluna vertebral, e aquelas entre 15 Hz e 24 Hz podem interferir na visão, diminuindo a fixação e a percepção visual (Berasategui 2000).

Além disso, este trabalho mostra a importância de se avaliar a vibração, de forma tridimensional, buscando-se alternativas para reduzir, principalmente, seu componente horizontal, pois a análise individual da vibração vertical não denota o real risco ocupacional ao operador. Bluthner et al. (2006) afirmam que a vibração, no sentido horizontal, pode levar a espinha dorsal dos operadores a sofrer sérios danos. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de dispositivos nos assentos de trator, a fim de atenuar a vibração, principalmente no sentido horizontal.

Ressalta-se, também, que os ensaios foram feitos em um trator usado, com assento original, o que demonstra a necessidade de manutenção da máquina, não apenas em sua parte mecânica e operacional, mas, também, dos itens de conforto e segurança. O uso da máquina, com o passar do tempo, tende a acentuar os problemas de vibração e ruído, como pode ser percebido neste trabalho.

CONCLUSÕES

1. As operações de aração e gradagem avaliadas apresentaram níveis de ruído, medido junto ao ouvido do operador, acima do limite de 85 dB(A), para 8 horas de exposição diária, sem protetor auricular, estabelecido pela NR-15. Faz-se necessário o uso de dispositivos de proteção auricular, por parte dos operadores de trator.
2. As acelerações, no sentido do deslocamento do trator, mostraram-se bem superiores às acelerações verticais e transversais ao sentido de deslocamento do trator, ultrapassando os valores toleráveis, segundo a ISO 2631. Há necessidade de se aprofundar os

estudos das fontes de vibração e sua mitigação nos tratores agrícolas, de forma a melhorar a condição de trabalho para o operador.

REFERÊNCIAS

- BERASATEGUI, M. B. R. *Modelización y simulación del comportamiento de un sistema mecánico con suspensión aplicado a los asientos de los tractores agrícolas*. 2000. 264 f. Tese (Doutorado em Engenharia Rural)–Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2000.
- BLÜTHNER, R. et al. On the significance of body mass and vibration magnitude for acceleration transmission of vibration through seats with horizontal suspensions. *Journal of Sound and Vibration*, London, v. 298, n. 4, p. 627-637, 2006.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. *Atividades e operações insalubres: NR-15*. 2009. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2009.
- CUNHA, J. P. A. R.; TEODORO, R. E. F. Avaliação do nível de ruído em derriçadores e pulverizadores motorizados portáteis utilizados em lavouras de café. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 22, n. 3, p. 71-77, 2006.
- DEWANGAN, K. N.; PRASANNA-KUMAR, G. V.; TEWARI, V. K. Noise characteristics of tractors and health effect on farmers. *Applied Acoustics*, London, v. 66, n. 9, p. 1049-1062, 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.
- FERNANDES, H. C. et al. Vibração em tratores agrícolas: caracterização das faixas de frequência no assento do operador. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v. 11, n. 1, p. 26-31, 2003.
- FRANCHINI, D. *Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trator agrícola*. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)–Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- FRANKLIN, R. C. et al. Factors affecting farm noise during common agricultural activities. *Journal of Agricultural Safety and Health*, St. Joseph, v. 12, n. 2, p. 117-125, 2006.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 2631: guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration*. 2. ed. Geneva: ISO, 1978.

- MERLUZZI, F.; DIGHERA, R.; DUCA, P. Soglia uditiva di lavoratiriron espositi a rumore professionale: valore de riferimento. *La Medicina del Lavoro*, Roma, v. 6, n. 78, p. 427-440, 1987.
- PESSINA, D.; GUERRETTI, M. Effectiveness of hearing protection devices in the hazard reduction of noise from used tractors. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Silsoe, v. 75, n. 1, p. 73-80, 2000.
- RODRIGUES, M. A. G.; DEZAN, A. A.; MARCHIORI, L. L. M. Eficácia da escolha do protetor auditivo pequeno, médio e grande em programa de conservação auditiva. *Revista Cefac*, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 543-547, 2006.
- SALVADOR, N. et al. Demanda energética em diferentes sistemas de preparo periódico do solo antes e depois da subsolagem. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 39, n. 3, p. 378-383, 2008.
- SANTOS FILHO, P. F. et al. Avaliação dos níveis de vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automática de dados. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 887-895, 2003.
- SANTOS FILHO, P. F. et al. Utilização de um sistema de aquisição automática de dados para avaliação dos níveis de ruído de um trator agrícola de pneus. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 381-386, 2004.
- SCARLETT, A. J.; PRICE, J. S.; STAYNER, R. M. Whole-body vibration: evaluation of emission and exposure levels arising from agricultural tractors. *Journal of Terramechanics*, Oxford, v. 44, n. 1, p. 65-73, 2007.
- SERVADIO, P.; MARSILI, A.; BELFIORE, N. P. Analysis of driving seat vibrations in high forward speed tractors. *Biosystems Engineering*, Kidlington, v. 97, n. 2, p. 171-180, 2007.
- SIMONE, M. et al. *El tractor agrícola: fundamentos para su selección y uso*. Mendoza: INTA, 2006.
- TEWARI, V. K.; DEWANGAN, K. N. Effect of vibration isolators in reduction of work stress during field operation of hand tractor. *Biosystems Engineering*, Kidlington, v. 103, n. 2, p. 146-158, 2009.
- TIEMESSEN, I. J.; HULSOFF, C. T. J.; FRINGS-DRESEN, M. H. W. An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: a systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Amsterdam, v. 37, n. 3, p. 245-256, 2007.