

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO DE AR DOS PNEUS E MATERIAL DE COBERTURA NO SOLO NA VIBRAÇÃO DE MÃOS E BRAÇOS EM UM OPERADOR DE TRATOR AGRÍCOLA

MAYARA RODRIGUES UCHÔA¹, VIVIANE CASTRO DOS SANTOS²,
LEONARDO DE ALMEIDA MONTEIRO³

¹ Mestra em Engenharia Agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza/CE, (85) 99608-0852, mayarauchoa96@gmail.com.

² Profª. Dra., Depto. De Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza/CE, (85) 98686-9117, viviane.castro@ufc.br.

³ Prof. Dr., Depto. De Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza/CE, (85) 99955-0114, aiveca4@gmail.com.

Apresentado no
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

RESUMO: As atividades agrícolas realizadas em campo submetem os operadores a níveis de vibração que podem gerar efeitos nocivos à saúde do operador. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a exposição do operador às vibrações de mãos e braços em um trator agrícola em função da utilização de três pressões internas de ar nos pneus, duas velocidades de deslocamento e duas superfícies de rolamento. O experimento foi realizado na área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. O trator utilizado foi um trator 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA) da marca Valtra modelo BM 125i, ano 2011 com potência do motor de 91,9 kW (125 cv), rotação máxima de 2300 rpm, equipado com pneus radiais. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 x 3, sendo duas superfícies de rolamento dos pneus (solo solto e solo com (*Panicum maximum* cv. Mombaça) cobertura vegetal), duas velocidades de deslocamento (4,3 km.h⁻¹ e 6,4 km.h⁻¹), e três pressões internas nos pneus, sendo (10, 14 e 18 lb.pol⁻²) para os pneus dianteiros e (12, 16 e 20 lb.pol⁻²) para os pneus traseiros. O experimento foi realizado de acordo com as diretrizes determinadas pela NHO – 10. Para avaliação dos resultados, os dados foram submetidos a análise estatística, onde através dos valores de simetria e curtose foi verificada a normalidade e então 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 níveis de vibrações aumentaram em função do aumento da velocidade e da pressão interna de ar nos pneus e diminuíram com o uso de material de cobertura no solo. A condição de trabalho que apresentou menores níveis de exposição a vibração foi encontrada nas operações com material de cobertura sobre o solo, na velocidade de 4,3 km.h⁻¹ na pressão interna de ar nos pneus mínima (10 lb.pol⁻² nos rodados dianteiros e 12 lb.pol⁻² nos rodados traseiros).

PALAVRAS-CHAVE: ergonomia, velocidade de deslocamento, riscos ocupacionais.

INFLUENCE OF TIRES AIR PRESSURE AND GROUND COVER MATERIAL ON HAND AND ARMS VIBRATION IN AN AGRICULTURAL TRACTOR OPERATOR

ABSTRACT: Agricultural activities carried out in the field subject operators to levels of vibration that can generate harmful effects on the operator's health. Thus, the objective of this work was to evaluate the operator's exposure to hand and arm vibrations in an agricultural tractor as a function of the use of three internal air pressures in the tires, two displacement speeds and two rolling surfaces. The experiment was carried out in the experimental area of the Laboratory for Investigation of Accidents with Agricultural Machines, belonging to the Department of Agricultural Engineering at the Federal University of Ceará. The tractor used was a 4x2 tractor with front auxiliary drive (TDA) of the Valtra brand, model BM 125i, year 2011 with engine power of 91.9 kW (125 hp), maximum speed of 2300 rpm, equipped with radial tires. The experimental design was completely randomized, in a 2 x 2 x 3 factorial scheme, with two tire rolling surfaces (loose soil and soil with (*Panicum maximum* cv. Mombaça) vegetation cover), and two displacement speeds (4.3 km.h⁻¹ and 6.4 km.h⁻¹), and three internal pressures in the tires, being (10, 14 and 18 lb.in⁻²) for the front tires and (12, 16 and 20 lb.in⁻²) for the rear tires. The experiment was carried out according to the guidelines determined by the NHO - 10. To evaluate the results, the data were submitted to statistical analysis, where normality was verified through the symmetry and kurtosis values and then submitted to the analysis of variance by the F test, and when significant, the means were compared by the Tukey test, at 5% significance. It is concluded that vibration levels increased as a function of the increase in speed and internal air pressure in the tires and decreased with the use of covering material on the ground. The best working condition found was to carry out the operations with covering material on the ground, at a speed of 4.3 km.h⁻¹ at the minimum internal air pressure in the tires (10 lb.in⁻² in the front wheels and 12 lb. .in⁻² on the rear wheelset).

KEYWORDS: ergonomics, travel speed, occupational hazards.

INTRODUÇÃO: Diversos fatores podem influenciar na qualidade de operação desempenhada pelo operador, principalmente ruído, temperatura e vibração que interferem diretamente no seu bem-estar. A vibração consiste no movimento inerente aos corpos que são dotados de massa e elasticidade. Como o corpo humano possui características de inércia e elasticidade, estas lhe conferem valores de frequência natural distintos, ou seja, cada parte do corpo vibra em frequências diferentes (SALIBA, 2009). 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). As vibrações de mãos e braços ou de extremidades, atingem certas extremidades do corpo, principalmente mãos, braços, situam-se na faixa de 6,3 a 1250 Hz, ocorrendo nos trabalhos com ferramentas manuais. Qualquer trabalhador que utiliza ferramentas motorizadas ou guiadas a mão como parte importante de seu trabalho pode desenvolver lesões por vibração em suas mãos e braços, e qualquer trabalho que provoque formigamento, dormência, ou o “branqueamento dos dedos”, deve ser considerado como suspeito (HSE, 2016). Segundo Roldán et al.(1999) as vibrações a que o operador de máquinas agrícolas é submetido se originam de duas fontes principais, as vibrações do motor e a que a transmissão dessas máquinas produzem. A vibração de mãos e braços se dá através do contato com o volante e outras alavancas. A redução da vibração, além de diminuir o estresse do operador, permite melhorar a qualidade de vida e aumentar a jornada de trabalho sem causar fadiga nos trabalhadores rurais (TEWARI;DEWANGAN, 2009). Sendo assim, a pesquisa teve como objetivo avaliar a exposição do operador às vibrações de e mãos

e braços em um trator agrícola em função da utilização de três pressões internas de ar nos pneus e duas velocidades em duas superfícies de rolamento.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado na área experimental do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas da Universidade Federal do Ceará. O solo da área é classificado de acordo com EMBRAPA (1999) como um Argissolo Vermelho-amarelo. Os ensaios foram realizados em duas áreas, uma área preparada anteriormente com aração e gradagem e outra não preparada com material de cobertura, ambas as áreas apresentam relevo plano levemente ondulado. Para formação do material de cobertura foi semeado capim-Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) a lanço, após 90 dias o material foi dissecado com herbicida e tombado. Para avaliação da quantidade de resíduos culturais na superfície do solo foi realizada como recomendado por Bressan et al. (2013), onde se obteve uma estimativa de 6.400 kg. ha⁻¹. O trator utilizado foi um 4x2 com tração dianteira auxiliar (TDA) da marca Valtra modelo BM 125i, com potência do motor de 91,9 kW (125 cv), rotação máxima de 2300 rpm, 4 cilindros e cilindrada total de 4400cm³. Os rodados utilizados no trator foram pneus radiais, 14.9R24 no eixo dianteiro e no eixo traseiro 18.4R34. Para determinar a distribuição de peso e relação peso/potência foi realizada a pesagem do trator com uma balança pertencente ao NUTEC (Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará) onde foram pesados os eixos dianteiro e traseiro do trator. O rodado dianteiro apresentou peso de 1940 kg (45% do peso) e o rodado traseiro 2830 kg (60% de peso), com relação peso/potência de 52 kg/kW. As velocidades utilizadas foram de 4,3 km.h⁻¹ (V1) e 6,4 km.h⁻¹ (V2), proporcionadas pelas marchas L2 e L3 respectivamente, com o botão do multitorque acionado no Low, as pressões internas de ar nos pneus foram escolhidas em função da recomendação do fabricante e da carga distribuída nos rodados sendo a mínima, a sugerida e a máxima respectivamente de 10, 14 e 18 lb.pol⁻² para os pneus dianteiros e 12, 16 e 20 lb.pol⁻² para os pneus traseiros. O experimento foi realizado de acordo com as diretrizes da norma NHO-10 (FUNDACENTRO, 2013). Para a avaliação das vibrações foi utilizado um acelerômetro triaxial modelo 356A02 fixo ao volante, conectado ao medidor de vibração MV-100. Foram avaliados os seguintes parâmetros de vibração, aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*), pico máximo de aceleração resultante e aceleração média.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Percebe-se que os valores de aceleração resultante de exposição normalizada (*aren*) apresentaram diferenças significativas para todas as variáveis avaliadas, o que mostra que os valores de *aren* crescem em função do acréscimo da velocidade e da pressão interna de ar nos pneus e diminuem com o uso de material de cobertura no solo (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios de vibrações de mãos e braços (VMB)

Fontes de Variação		Aren (m.s ⁻²)	PMAXR (m.s ⁻²)
Valor de F	Cobertura	351,5*	724,1*
	Velocidade	367,5*	455,2*
	Pressão	60,2*	1216,7*
CV (%)		10,39	10,02
Superfície de rolamento	Sem cobertura	2,64 a	12,7 a
	Com cobertura	2,16 b	9,8 b
Velocidades de deslocamento	4,3 km.h ⁻¹	2,14 b	10,1 b

	6,4 km.h ⁻¹	2,67 a	12,4 a
	Máx.	2,60 a	14,6 a
Pressões	Sug.	2,36 b	11,2 b
	Min.	2,24 c	7,9 c

Legenda: * (p<0,05); ^{NS} (não significativo). Médias sem letras não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). Aren: Aceleração resultante de exposição normalizada. PMAXR: Valor de pico máximo resultante. Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

De acordo com a NHO-10 (FUNDACENTRO, 2013) valores aceitáveis de aren são de 0 a 2,5 m.s⁻², os fatores: com material de cobertura no solo, a velocidade de 4,3 km.h⁻¹, e as pressões mínima e sugerida obtiveram valores dentro desta faixa, por isso são consideradas salubres ou seja nestas condições o operador pode trabalhar as oito horas diárias sem riscos, já os fatores sem material de cobertura no solo, a velocidade de 6,4 km.h⁻¹ e a pressão máxima de ar nos pneus estão na faixa de 2,5 a 3,5 m.s⁻² o que indica que os valores obtidos estão acima do nível de ação e deve-se reduzir os níveis de exposição do operador. Os valores de pico máximo resultante (PMAXR) apresentaram diferenças significativas para todos os fatores avaliados, resultados semelhantes foram obtidos por Goglia et al. (2006) que obtiveram valores de pico entre 6,6 e 8,37 m.s⁻² e Dewangan e Tewari (2009) obtiveram valores entre 6,8 e 11,7 m.s⁻² onde também encontraram diferença significativa entre os valores de pico com o incremento da velocidade de deslocamento do trator, isso provavelmente ocorre em função da maior quantidade de choques mecânicos que a máquina recebe em velocidades maiores. A Tabela 2 apresenta os valores médios de aren de acordo com os tratamentos, através da mesma é possível observar que a condição de trabalho com menores médias de aren para vibrações de mãos e braços foi encontrada nos tratamentos T8 e T9 que correspondem a área com material de cobertura, velocidade de 4,3 km.h⁻¹ e pressão interna de ar nos pneus mínima (10 lb.pol⁻² nos rodados dianteiros e 12 lb.pol⁻² nos rodados traseiros) e sugerida (14 lb.pol⁻² nos rodados dianteiros e 16 lb.pol⁻² nos rodados traseiros) nos pneus.

Tabela 2. Valores médios de vibração de mãos e braços (VMB).

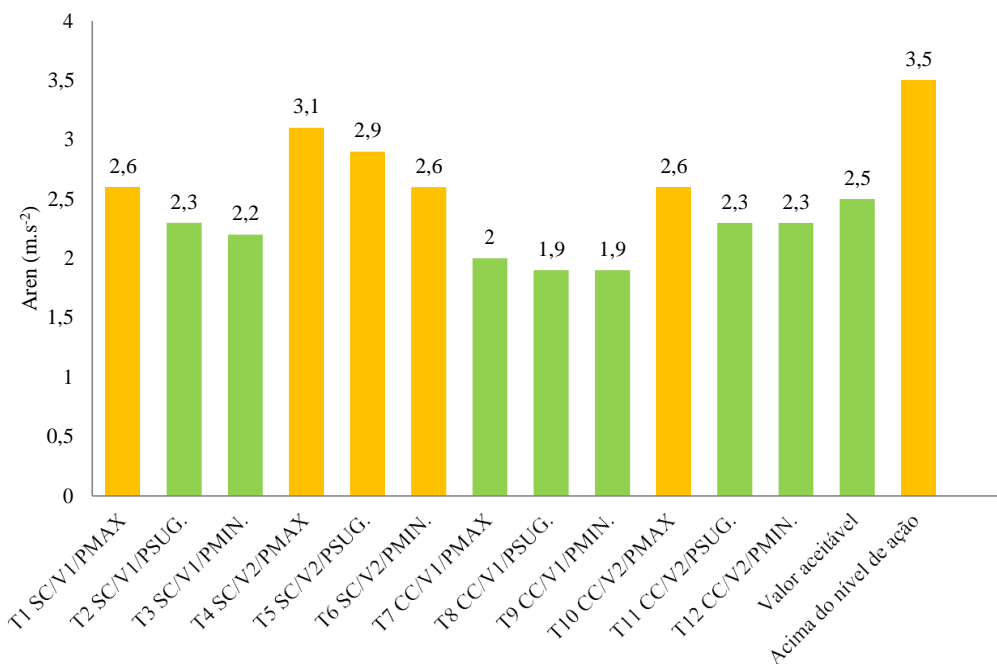
Fontes de Variação		aren (m.s ⁻²)
Valor de F	TRATAMENTOS	758,3*
CV (%)		10,39
T1 SC/V1/PMAX		2,6 c
T2 SC/V1/PSUG.		2,3 d
T3 SC/V1/PMIN.		2,2 e
T4 SC/V2/PMAX		3,1 a
T5 SC/V2/PSUG.		2,9 b
T6 SC/V2/PMIN.		2,6 c
T7 CC/V1/PMAX		2,0 f
T8 CC/V1/PSUG.		1,9 g
T9 CC/V1/PMIN.		1,9 g
T10 CC/V2/PMAX		2,6 c
T11 CC/V2/PSUG.		2,3 d
T12 CC/V2/PMIN.		2,3 d

Legenda: * (p<0,05); ^{NS} (não significativo). Médias sem letras não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). Aren: aceleração resultante de exposição normalizada.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Na Figura 1 é possível visualizar que diversos tratamentos obtiveram uma condição de trabalho salubre considerando os limites estabelecidos pela NHO 10 (FUNDACENTRO, 2013).

Figura 1. Valores médios de aren para VMB em todos os tratamentos analisados.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A Tabela 3 apresenta a aceleração média nos eixos x, y e z, onde é possível observar que o eixo X foi o que apresentou maiores valores, pois é no volante que esta o principal mecanismo que vai transmitir a VMB, os choques mecânicos são reduzidos causando redução nos valores no Eixo Z, e os valores no eixo X aumentam principalmente em função de arranques do motor, pela ação da própria inércia e o movimento do volante.

Tabela 3. Valores médios de aceleração média nos eixos x, y e z (VMB).

Fontes de Variação		Aceleração média no eixo X (m.s ⁻¹)	Aceleração média no eixo Y (m.s ⁻¹)	Aceleração média no eixo Z (m.s ⁻²)
Valor de F	Cobertura	251,3*	274,8*	356,2*
	Velocidade	291,2*	265,3*	243,1*
	Pressão	206,1*	157,2*	231,7*
CV (%)		9,2	11,1	8,7
Superfície de rolamento	Sem cobertura	1,17 a	1,08 a	0,88 a
	Com cobertura	1,02 b	0,92 b	0,72 b
Velocidades de deslocamento	4,3 km.h ⁻¹	1,01 b	0,90 b	0,71 b
	6,4 km.h ⁻¹	1,18 a	1,01 a	0,89 a
Pressões	Máx.	1,12 a	1,07 a	0,87 a
	Sug.	1,08 b	0,98 b	0,79 b
	Min.	1,04 c	0,94 c	0,75 c

Legenda: * (p<0,05); ^{NS} (não significativo). Médias sem letras não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Glogia *et al.* (2003) analisando as acelerações médias nos eixos x, y e z também obtiveram maiores valores no eixo x, assim como Dewangan e Tewari (2009) que obtiveram as acelerações médias no eixo X cerca de 30% maior que o eixo Y e cerca de 50% maior que no eixo Z, obtendo valores superiores acima de 3 m.s^{-2} diferente dos encontrados que não passaram de $1,12 \text{ m.s}^{-2}$, Glogia *et al.* (2003) afirmam que pelo menos 10% dos operadores expostos a níveis de exposição como esse diariamente devem desenvolver síndrome das mãos brancas em menos de 2 anos de exposição, esse é um problema sério tendo em vista que o estágio final desta síndrome sempre força os trabalhadores a deixarem sua ocupação, face à ameaça de gangrena nos dedos, resultado da perda do suprimento de sangue, com possibilidade até de amputação do membro (VENDRAME, 2016). Uma das formas de minimizar os riscos à saúde do operador é com a adoção de medidas preventivas e corretivas, como o monitoramento periódico da exposição, a informação e a orientação aos trabalhadores, controle médico, redução do tempo de exposição diária, alternância de atividades ou operações que gerem exposições a níveis mais elevados de vibração com outras que não apresentem exposições ou impliquem exposições a menores níveis, troca de componentes novos quando identificado que estes produzem vibração excessiva, entre outras (FUNDACENTRO, 2013).

CONCLUSÕES: A condição de trabalho com menores exposições a vibrações foi encontrada realizando as operações com material de cobertura sobre o solo, na velocidade de $4,3 \text{ km.h}^{-1}$ e na mínima pressão interna de ar nos pneus. A utilização de pressões mais baixas apresentou menores níveis de vibração. A utilização de *Panicum maximum cv. Mombaça* como material de cobertura apresentou redução dos níveis de vibrações a qual o operador está exposto, se mostrando adequado para atenuação. O acréscimo da velocidade proporcionou elevação nos níveis de vibrações. O eixo que apresentou maior incidência de vibrações foi o eixo X.

AGRADECIMENTOS: Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico (CNPq) pelo fomento da bolsa à primeira autora.

REFERÊNCIAS:

- DEWANGAN, H. S.; TEWARI, V. K.; SINGH S. **Discomfort, pressure distribution and safety in operator's seat: a critical review.** Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development. v. 05, 2003. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.536.752&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 05 de jun. 2021.
- FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional (NHO-10): avaliação da exposição ocupacional a vibrações de mãos e braços: procedimento técnico.** São Paulo: Fundacentro, 2013.
- GOGLIA, V.; GOSPODARIC, Z.; FILIPOVIC, D.; DJUKIC, I. **Influence on operator's health of hand-transmitted vibrations from handles of a single-axle tractor.** Annals of Agricultural and Environmental Medicine, v.13, p. 33–38, 2006. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16841869>. Acesso em: 05 de jun. 2021.
- HSE. **Health and Safety Executive. Hand-arm vibration at work.** United King: 2016. Disponível em: <http://www.hse.gov.uk/vibration/index.htm>. Acesso em 12 ago. 2021.
- ROLDÁN, G. B.; ROMERO, J. R. J.; RIBES, J. G. **Vibración em los asientos de tractores agrícolas.** Revista Vida Rural, Ed. Eumedia, Madrid, 1999.
- SALIBA, T. M. **Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração.** São Paulo: LTR, 2009.

TEWARI, V. K.; DEWANGAN, K. N. Effect of vibration isolators in reduction of work stress during field operation of hand tractor. **Biosystems Engineering, London**, v. 103, n. 2, p. 146-158, 2009.

VENDRAME, A. C. **Vibrações ocupacionais**. 2006. Disponível em: <http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes_vendrame.pdf>. Acesso em: 10 de jun. 2021.