



ARTIGO ORIGINAL

Diego Weslly Ferreira do Nascimento Santos<sup>1\*</sup>  
Paulo Roberto Forastiere<sup>1</sup>  
Marconi Ribeiro Furtado Júnior<sup>2</sup>  
Domingos Sárvio Magalhães Valente<sup>1</sup>  
Haroldo Carlos Fernandes<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Viçosa – UFV, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, 36570-900, Viçosa, MG, Brasil

<sup>2</sup> Instituto Federal Goiano – IF Goiano, Rodovia Geraldo Silva Nascimento, km 2,5, Zona Rural, 75790-000, Urutai, GO, Brasil

\*Autor Correspondente:

E-mail: diegoweslley89@gmail.com

**PALAVRAS-CHAVE**

Ergonomia  
Trator agrícola  
Parâmetros operacionais

**KEYWORDS**

Ergonomics  
Agricultural tractors  
Operational parameters

## Parâmetros ergonômicos e operacionais de um conjunto trator-escarificador em função da rotação do motor e pressão interna dos pneus

*Ergonomic and operational parameters of a tractor-scarifier unit in function of engine speed and internal tire pressure*

**RESUMO:** Apesar da série de vantagens que a operação de escarificação apresenta, os tratores agrícolas não possuem amortecedores e alguns não são cabinados, o que pode resultar em níveis elevados de vibração e ruído para o operador. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o ruído, vibração, consumo horário de combustível e patinagem de um conjunto trator-escarificador operando em diferentes rotações do motor e distintas pressões internas dos pneus. Os níveis de ruído foram aferidos por um medidor de pressão sonora digital (decibelímetro) posicionado próximo ao ouvido esquerdo do operador. A vibração longitudinal e vertical no posto de operação foram obtidas por dois acelerômetros uniaxiais instalados perpendicularmente entre si, embaixo do assento do operador. O consumo de combustível foi obtido por meio de um fluxômetro instalado no sistema de alimentação da máquina. Já a patinagem foi calculada através da mensuração da velocidade rotacional e translacional do conjunto. O experimento foi disposto em um delineamento inteiramente casualizado, no qual foi adotado um esquema fatorial (3 x 3), sendo 3 pressões internas do pneu (83 kPa; 103 kPa; 124 kPa) e três rotações do motor (1.600 rpm; 1.900 rpm; 2.300 rpm), totalizando 9 tratamentos com 4 repetições cada. Os dados foram analisados por meio de regressão. A rotação do motor e a pressão interna dos rodados influenciaram de forma significativa no ruído, vibração vertical e consumo horário. A partir dos resultados é indicado que na operação de escarificação o trator trabalhe no menor regime de rotação possível, gerando assim menores valores de vibração vertical e consumindo menos de combustível.

**ABSTRACT:** Despite of the series of advantages that the scarification operation presents, the agricultural tractors do not have shock absorbers and some are not cabins, which can result in high levels of vibration and noise to the operator. The present study had the objective of evaluating the noise, vibration, fuel consumption and skidding of a tractor-scarifier assembly operating at different engine speeds and different internal tire pressures. Noise levels were measured by a digital sound pressure meter (decibelmeter) positioned near the operator's left ear canal. The longitudinal and vertical vibration in the operating station were obtained by two uniaxial accelerometers installed perpendicular to each other, under the operator's seat. The fuel consumption was obtained by means of a flowmeter installed in the system of feeding of the machine. The skidding was calculated by measuring the rotational and translational speed of the machine. The experiment was arranged in a completely randomized design, using a factorial scheme (3x3), with three internal tire pressures (83 kPa, 103 kPa, 124 kPa) and three engine rotations (1,600 rpm, 1,900 rpm and 2,300 rpm), totalizing nine treatments with four repetitions each. Data were analyzed by means of regression. The engine rotation and the internal pressure of the tires influenced significantly on the noise, vertical vibration and hourly consumption. From the results it is indicated that in the scarification operation the tractor works at the lowest speed of rotation, thus obtaining lower values of vertical vibration and lower fuel consumption.

Recebido: 13 jan. 2017  
Aceito: 20 fev. 2017

## 1 Introdução

Os tratores agrícolas são máquinas capazes de transformar, através de seu ciclo termodinâmico, a energia química do combustível em trabalho mecânico e, dessa forma, realizar diversas operações agrícolas, dentre elas a escarificação.

A escarificação é realizada com implemento denominado escarificador e tem por objetivo romper a camada arável do solo até a profundidade de 30 cm, sem inverter a leiva do solo. O sistema de preparo do solo com escarificação proporciona redução da resistência à penetração, aumento da disponibilização de macronutrientes em maiores profundidades para o sistema radicular e, em consequência, maior rendimento de grãos por hectare (Sartori et al., 2016).

Apesar da série de vantagens que o conjunto trator-escarificador apresenta, Jain et al. (2008) afirmam que os tratores não apresentam amortecedores e molas, como os veículos urbanos, o que pode resultar em níveis elevados de vibração para o operador. Outro fator negativo é o ruído emitido pelo motor dos tratores pois, segundo Dewangan et al. (2005), a exposição durante 40 horas por semana a níveis de ruído superior a 85 dB(A) é considerada insegura e pode causar hipoacusia aos operadores.

O avanço tecnológico proporcionou melhorias significativas nos sistemas de suspensão dos assentos e a introdução de tratores cabinados, sendo que ambos os fatores contribuíram para a redução dos níveis de ruído e vibração a que os operadores são expostos, sendo assim necessário o aprofundamento dos estudos de acústica e vibração nessa área a fim de verificar se as melhorias realizadas foram eficazes na redução dos níveis desses parâmetros.

Segundo Amaury et al. (2015), os fatores ergonômicos: vibração, ruído e a realização de posturas inadequadas para executar o trabalho podem ser modificados para se minimizar o impacto que a tarefa exige. Os enormes estresses físicos e mentais provocados pelas operações agrícolas aos operadores influenciam negativamente no desempenho operacional, saúde e segurança deles.

A rotação do motor influencia diretamente em parâmetros ergonômicos e operacionais de máquinas agrícolas. Cunha et al. (2012) afirmam que o aumento da rotação do motor do trator provoca aumento nos níveis de ruído, sendo necessário a redução do tempo de exposição dos operadores a fim de se evitarem danos à saúde deles Já Ramos et al. (2016) verificaram que o consumo horário de combustível aumenta de forma expressiva quando o motor opera em altas rotações, o que proporciona acréscimos no custo operacional da máquina e na emissão de poluentes. Na maioria das vezes, os operadores de máquinas utilizam aceleração máxima e marchas inadequadas, preocupando-se pouco com o consumo de combustível e com a real demanda de força da operação (Silveira et al., 2013).

Mediante o exposto e a necessidade de otimização de parâmetros ergonômicos e operacionais de tratores agrícolas, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o ruído, transmissão de vibração ao posto do operador, consumo horário de combustível e patinagem de um conjunto trator-escarificador operando em diferentes rotações do motor e pressões internas dos pneus.

## 2 Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em uma área pertencente à Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Viçosa, MG, coordenadas 20°46'07" latitude sul e 42°52'13" de longitude oeste, altitude de 660 m. O solo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, segundo a classificação da Embrapa (2013), sem declividade. No momento do estudo, o solo apresentava umidade média de 17,39%, densidade média igual a 2,55 g cm<sup>-3</sup> e resistência à penetração média de 1,71 MPa.

O experimento foi disposto em um delineamento inteiramente casualizado, adotando-se um esquema fatorial (3 x 3), sendo 3 pressões interna do pneu (83 kPa; 103 kPa; 124 kPa) e três rotações do motor (1.600 rpm; 1.900 rpm; 2.300 rpm), totalizando 9 tratamentos com 4 repetições cada. Cada repetição tinha 2 metros de largura e 30 metros de comprimento. Foram escolhidas rotações do motor que proporcionassem a mesma velocidade de deslocamento da máquina (6 km<sup>-1</sup>). Com relação à pressão interna dos pneus, inicialmente foi adotado o valor recomendado pelos fabricantes e posteriormente foram escolhidos valores acima e abaixo, procedimento também adotado por Leite (2015).

Foi utilizado um trator John Deere, modelo 5705, 4 x 2 com tração dianteira auxiliar (TDA) e potência de 62,56 kW (85 cv) no motor a 2.400 rpm. A máquina foi equipada com pneus da marca Goodyear, modelo Dyna Torque II 12.4-24 no eixo dianteiro e pneus da marca Pirelli, modelo TM 95 18.4-30 no eixo traseiro. Durante a execução da pesquisa, o trator se encontrava lastrado com ferro fundido na parte dianteira e água nas rodas motrizes, totalizando uma massa de 4.900 kg, sendo 40% do valor distribuído na parte dianteira e os demais 60% na traseira.

Para o preparo do solo, considerado como de cultivo mínimo, foi utilizado um escarificador da marca Massey Ferguson, Modelo 226. O implemento pesava cerca de 220 kg, tinha largura útil de 2,20 m e 5 hastes equidistantes em 0,5 m. O conjunto haste e ponteira (bico reversível) tinha comprimento aproximado de 0,45 metros. Durante o experimento trabalhou-se a uma profundidade de 0,20 metro.

Para obtenção dos dados de consumo de combustível, patinagem, ruído e vibração foi utilizado um sistema de aquisição de dados da marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), modelo Spider 8, gerenciado pelo *software* HBM Catman 2.2, instalado em um computador portátil embarcado no trator.

A mensuração dos níveis de ruídos foi efetuada com um medidor de pressão sonora (decibelímetro) digital de marca MINIPA, modelo MSL – 1350, que foi conectado ao sistema de aquisição de dados. O decibelímetro foi posicionado próximo ao ouvido esquerdo do operador.

As vibrações no posto de operação foram obtidas por dois acelerômetros uniaxiais de marca PCB, com faixa de operação de 1 a 4.000 Hz e sensibilidade de 101,5 mV g<sup>-1</sup> para o sentido horizontal e 102,8 mV g<sup>-1</sup> para o sentido vertical. Os acelerômetros foram instalados perpendicularmente entre si, embaixo do assento do operador, sendo que um monitorava as acelerações horizontais no sentido de deslocamento do trator (ay) e o outro, as vibrações verticais (sentido az).

Os níveis de aceleração na base do posto de operação foram representados por meio do valor da aceleração média quadrática

(Root Mean Square – RMS) gerada na orientação paralela e na perpendicular ao plano de apoio do trator.

Posteriormente foi realizada uma análise do espectro de frequências, com intuito de verificar o comportamento das vibrações verticais e longitudinais na base do posto de operação, de acordo com cada faixa de frequência. Os espectros de frequência foram originados por meio da conversão dos dados de aceleração instantânea, que estão sobre o domínio do tempo, para o domínio da frequência, gerados pela transformada rápida de Fourier (TRF). A amplitude de vibração foi calculada com base na raiz da soma quadrática dos coeficientes obtidos na série trigonométrica de Fourier, para tal utilizaram-se números de 29 dados consecutivos de vibração em cada unidade experimental.

A velocidade desenvolvida pelo conjunto mecanizado, ou seja, a velocidade translacional foi obtida por meio de um radar de efeito Doppler, de marca Dickey John, modelo Radar II. Já a velocidade rotacional das rodas motrizes foi adquirida por intermédio de transdutores indutivos de marca Autonics, modelo PRCM 18. Com base na velocidade translacional e rotacional foi calculada a patinagem dos rodados conforme a Equação 1.

$$P_t = \frac{V_r - V_t}{V_r} \quad (1)$$

em que,  $P_t$  = deslizamento dos rodados, %;  $V_r$  = velocidade tangencial  $m\ s^{-1}$ ; e  $V_t$  = velocidade translacional,  $m\ s^{-1}$ .

A pressão interna dos pneus foi mensurada e monitorada por meio de transdutores de pressão de marca Sensata Technologies, modelo 100CP7-1, acoplados em cada pneu do trator por meio de um rotor cinemático.

A avaliação da quantidade de combustível consumida durante o experimento foi obtida utilizando-se um medidor de fluxo volumétrico, de marca FLOWMATE M-III, modelo LSF41C, sendo posteriormente calculado o consumo horário por meio da Equação 2.

$$C_h = \frac{Q}{T} \cdot 3,6 \quad (2)$$

em que,  $C_h$  = consumo horário,  $L\ h^{-1}$ ;  $Q$  = combustível consumido pelo trator na parcela,  $mL$ ; e  $T$  = tempo gasto pelo trator na parcela durante a operação,  $s$ .

Inicialmente foi realizado teste de normalidade. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, procedeu-se à análise de regressão. Os modelos foram selecionados com base nos coeficientes de determinação, no comportamento do fenômeno em estudo e na significância dos coeficientes de regressão. Para a realização dos procedimentos estatísticos foi utilizado o programa computacional R (R Development Core Team, 2012).

### 3 Resultados e Discussão

As variáveis pressão interna dos pneus e rotação do motor exibiram efeito linear e significativo no ruído do posto de operação do trator em estudo (Figura 1).

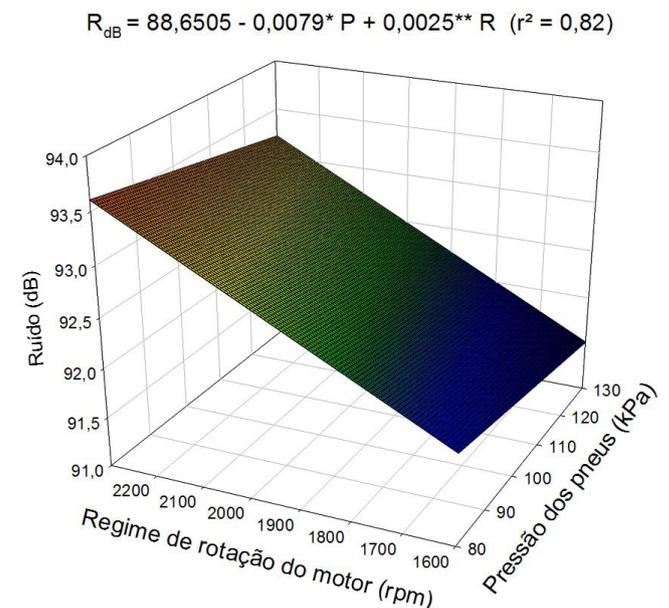
O aumento de uma unidade na pressão interna dos pneus para uma mesma unidade de rotação do motor correspondeu a um decréscimo de 0,0079 dB nos níveis de ruído do trator

avaliado. Leite (2015), ao avaliar o nível de ruído emitido por um trator de marca John Deere modelo 5705 equipado com pneus radiais verificou menor nível de ruído na pressão interna do pneu de 151,9 kPa.

Ao se analisar o regime de rotação do motor, percebe-se que o incremento de uma unidade dessa variável, para uma mesma pressão interna dos rodados, elevou o nível de ruído em 0,0025 dB. Tal comportamento decorre do maior número de combustões (explosões) que ocorre em maior rotação, provocando assim maior movimento das partes móveis do motor e, conseqüentemente, maior nível de ruído. Magalhães et al. (2012) também verificaram um aumento significativo nos níveis de ruído com o aumento da rotação do motor.

Operando com o trator em um regime de rotação do motor de 1.600 rpm e pressão interna dos rodados de 83 kPa, o nível sonoro próximo ao ouvido do operador foi de 92 dB, mediante isso, segundo a norma NR-15 (Brasil, 2016), a jornada de trabalho deve ser de 3 horas diárias. No entanto, com o aumento do regime de rotação do motor para 2.300 rpm e da pressão interna dos pneus para 124 kPa o nível de ruído no posto de operação foi para 93,43 dB, segundo a sugestão da NR-15, a jornada de trabalho deve ser reduzida para 2 horas e 40 minutos.

Os resultados expostos ficaram acima do limite considerado salubre para uma jornada de trabalho de 8 horas sem protetor auricular, conforme a NR-15 (Brasil, 2016). Nesse caso recomenda-se o uso de protetor auricular para proteção e prevenção de problemas de saúde do operador. O elevado



**Figura 1.** Equação ajustada e superfície de resposta para descrever o ruído ( $R_{dB}$ ) emitido pelo trator em função da pressão interna dos pneus ( $P$ ) e da rotação do motor ( $R$ ). Sendo:  $r^2$  = coeficiente de determinação ajustado; \*\* = significativo ao nível de 1%; \* = significativo ao nível de 5% probabilidade, ambos pelo teste  $t$

**Figure 1.** Adjusted equation and response surface to describe the noise ( $R_{dB}$ ) emitted by the tractor as a function of internal tire pressure ( $P$ ) and engine speed ( $R$ ). Being:  $r^2$  = adjusted coefficient of determination; \*\* = Significant at the 1% level; \* = Significant at the 5% probability level, both by the  $t$  test.

nível de ruído verificado no posto de operação da máquina é em virtude de ela não possuir cabine fechada com proteção acústica. Segundo Schlosser & Debiasi (2002), tratores cabinados apresentam redução de até 5 dB nos níveis de ruído para o operador.

A superfície de resposta e a equação ajustada das variáveis vibração longitudinal e vertical em função da pressão interna dos pneus e rotação do motor são apresentadas na Figura 2. A pressão interna dos pneus e a rotação do motor não provocaram efeito significativo sobre a vibração longitudinal, provavelmente em razão de essa variável apresentar sentido paralelo ao sentido de direção do conjunto trator-escarificador, sendo assim, os impactos eram mais facilmente absorvidos pelas rodas motrizes. Também não foi verificado efeito significativo da pressão interna dos pneus sobre a vibração vertical. Esses resultados se assemelham com os encontrados por Ribas et al. (2014), que verificaram que o aumento da pressão interna do pneu não prova acréscimos significativos nos valores de vibração longitudinal e vertical.

Constatou-se efeito significativo da rotação do motor sobre a vibração vertical, sendo que o aumento de uma unidade dessa variável ocasiona acréscimo de  $0,0019 \text{ m s}^{-2}$  nos valores de vibração vertical. Tal comportamento relaciona-se com mecanismos presentes no motor de combustão interna (biela e pistão), que trabalham no mesmo sentido da aceleração vertical. Sendo assim, o acréscimo da rotação do motor provoca o aumento do movimento desses componentes por unidade de tempo, ocasionando um aumento da vibração vertical na base do acento do operador, uma vez que entre o motor e o chassi do trator não existe mecanismo que amortecia tais vibrações.

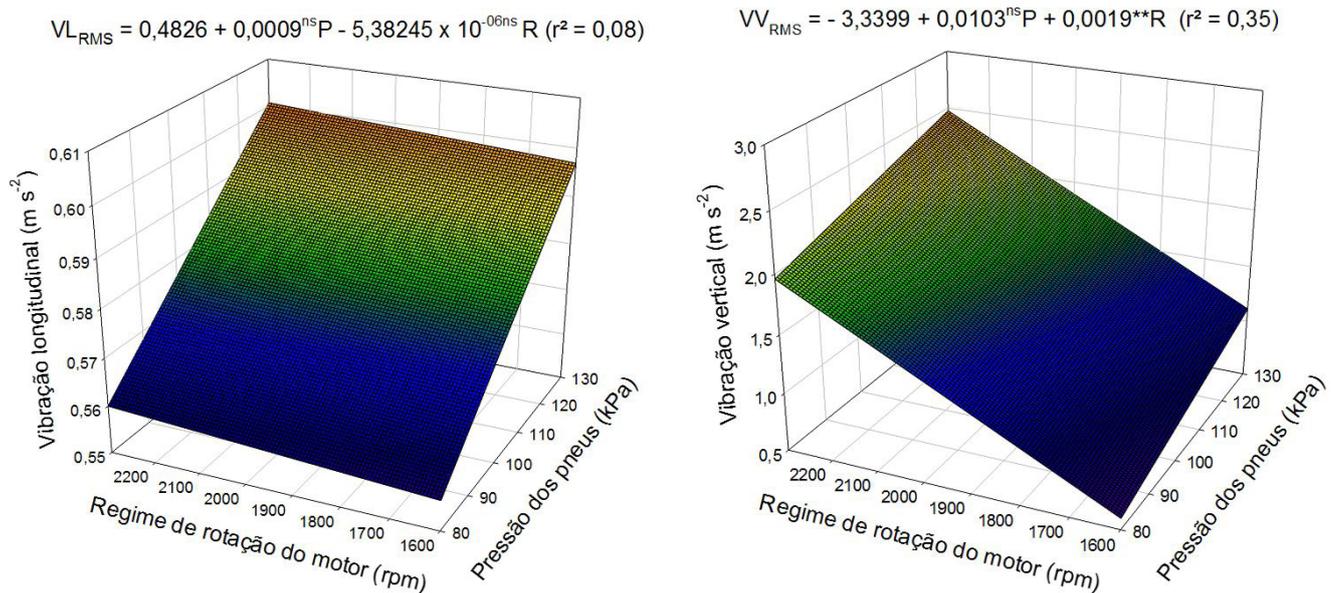
A partir da análise espectral, Figura 3, é possível verificar que os maiores valores de amplitude da vibração longitudinal estão situados entre 2 Hz e 4 Hz e que eles não variaram com o

trator operando nos três regimes de rotação do motor (1.600 rpm, 1.900 rpm e 2.300 rpm) e nas três pressões interna dos pneus (124 kPa, 103 kPa e 83 kPa). Nessa faixa de frequência, a jornada de trabalho do operador pode chegar a 24 horas diárias, segundo a ISO 2631 (ISO, 1997), sem causar danos à saúde dele. Leite (2015), ao avaliar a vibração longitudinal de um conjunto trator-grade aradora verificou maiores amplitudes de variação próximo à frequência 2 Hz, resultado semelhante ao deste trabalho.

Os maiores valores de amplitude da vibração vertical estão situados entre 2 Hz e 10 Hz de frequência, Figura 4, sendo os maiores picos de vibração observados na rotação de 2.300 rpm, nas pressões de 124 kPa e 83 kPa.

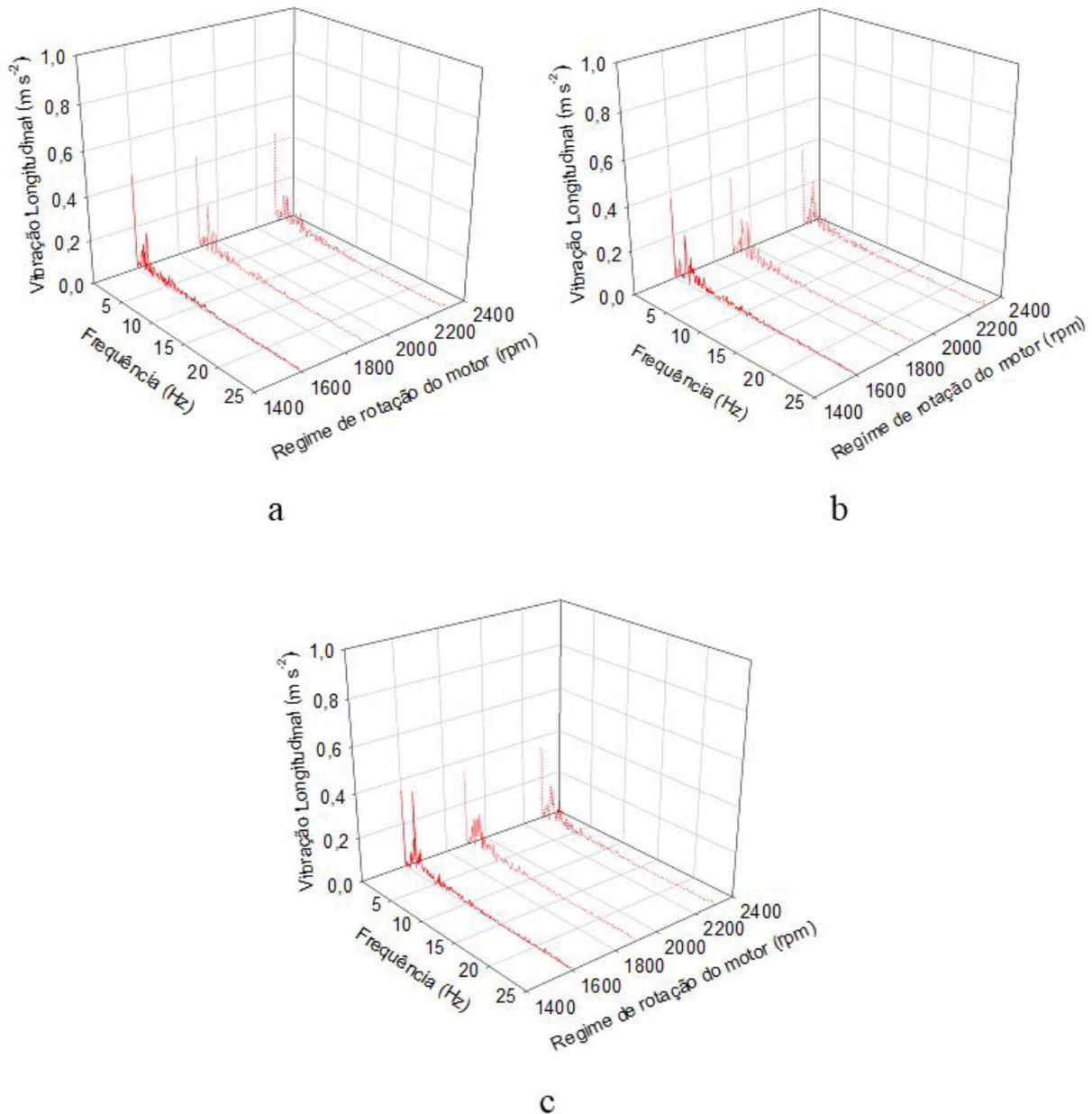
A concentração dos maiores picos de vibração vertical na faixa entre 2 Hz e 10 Hz de frequência pode provocar serias injúrias nas pernas do operador, já que ele opera a máquina sentado, sendo as pernas posicionadas sobre a base do assento. Diante disso é necessária a redução da jornada de trabalho do operador para menos de 8 horas diárias, conforme a ISO 2631 (ISO, 1997). Esse comportamento apresentado pela frequência e amplitude da vibração vertical pode estar relacionado com a ausência de suspensão (molejos e amortecedores) nos tratores agrícolas. Essa deficiência é suprida pelos pneus, que devem ser calibrados corretamente, de tal forma que se consiga aumentar o amortecimento de impactos provenientes das irregularidades das áreas de produção agrícola e manter eficiência na tração, reduzindo fatores como patinagem, consumo horário de combustível, entre outros.

Na Figura 5 é mostrada a equação ajustada, assim como a superfície de resposta da variável consumo horário de combustível em função da pressão interna dos pneus e regime de rotação do motor. Ambas variáveis independentes apresentaram efeito linear positivo sobre o consumo de combustível.



**Figura 2.** Equação ajustada e superfície de resposta para descrever vibração longitudinal (VL<sub>RMS</sub>) e vibração vertical (VV<sub>RMS</sub>) emitidas pelo trator em função da pressão interna dos pneus (P) e da rotação do motor (R). Sendo: r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação ajustado.

**Figure 2.** Adjusted equation and response surface to describe the longitudinal vibration (VLRMS) and vertical vibration (VVRMS) emitted by the tractor as a function of internal tire pressure (P) and engine (R) rotation. Being: r<sup>2</sup> = adjusted coefficient of determination.



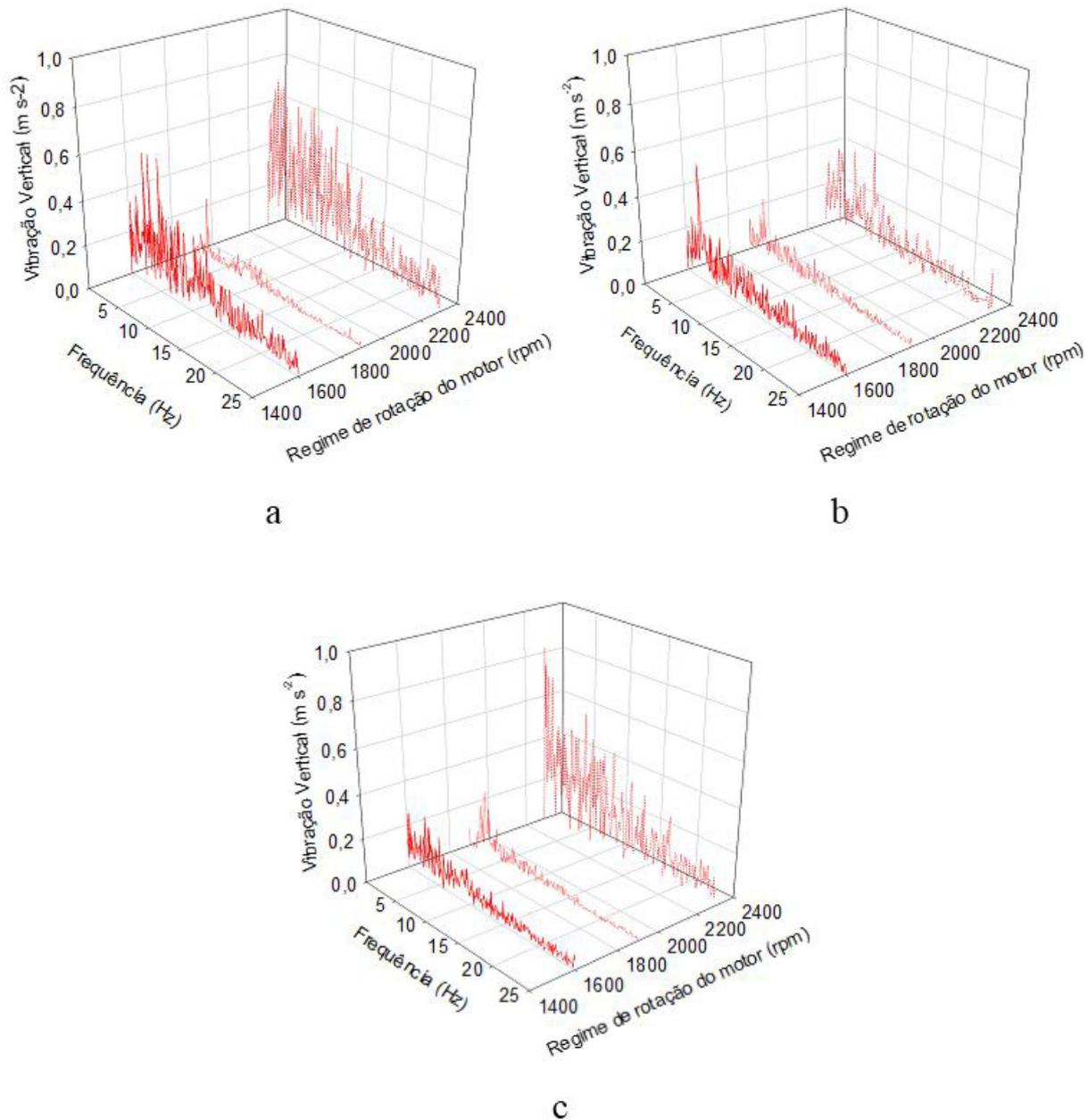
**Figura 3.** Espectro de frequências para a vibração longitudinal na base do acento do operador, de acordo com os regimes de rotações do motor e em todas as pressões internas dos pneus, sendo: 83 kPa (a), 103 kPa (b) e 124 kPa (c).

**Figure 3.** Frequency spectrum for longitudinal vibration at the base of the operator's accent, according to engine speed and all internal tire pressures, being: 83 kPa (a), 103 kPa (b) and 124 kPa (c).

Considerando o mesmo regime de rotação do motor, o acréscimo de uma unidade na pressão interna dos rodados provoca aumento de  $0,0054 \text{ L h}^{-1}$  no consumo de combustível. O aumento da pressão interna altera 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. Spagnolo et al. (2012), ao avaliarem o consumo de combustível de trator agrícola com pneus novos e com pneus desgastados em três pressões de insuflação, verificaram aumento significativo do consumo

horário de combustível com o aumento da pressão interna dos pneus.

Com relação ao regime de rotação do motor, percebe-se que o incremento de uma unidade, para a mesma pressão de insuflação dos rodados, ocasiona aumento de  $0,0024 \text{ L h}^{-1}$  no consumo horário. Tal fato justifica-se porque, para elevar a rotação do motor, deve haver consequentemente maior injeção de combustível na câmara de combustão, o que acarreta em aumento de consumo. Resultados semelhantes foram encontrados por Silveira et al. (2013), nos quais cada unidade acrescida



**Figura 4.** Espectro de frequências para a vibração vertical na base do acento do operador, de acordo com os regimes de rotações do motor e em todas as pressões internas dos pneus, sendo: 83 kPa (a), 103 kPa (b) e 124 kPa (c).

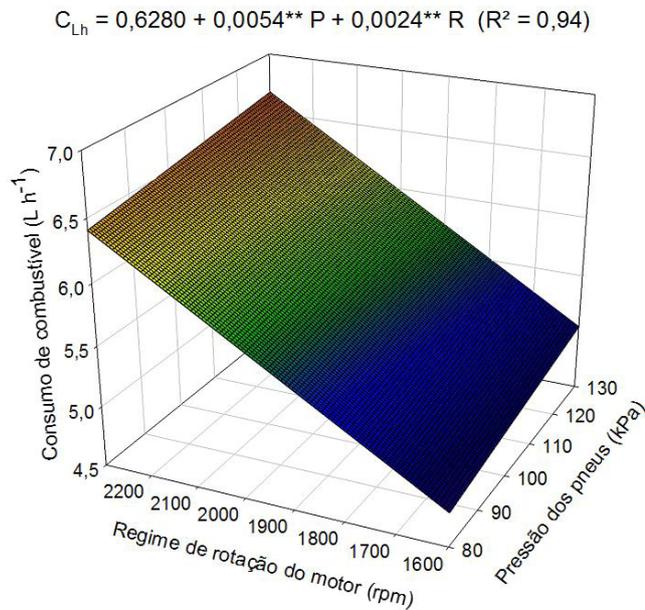
**Figure 4.** Frequency spectrum for vertical vibration at operator's accent base, according to engine speed and all internal tire pressures, being: 83 kPa (a), 103 kPa (b) and 124 kPa (c).

na rotação do motor provocava aumento de  $0,0053 \text{ L h}^{-1}$  no consumo de combustível.

A partir dos resultados percebe-se que não é necessário realizar o trabalho em rotações excessivas, que ele pode ser feito com melhor escalonamento de marchas, aliando a velocidade e demanda de tração necessárias para determinada operação de forma mais eficiente. Ao se analisar a rotação 1.600 rpm com a de 2.300 rpm, percebe-se um acréscimo de 34% no consumo de combustível, sendo esse aumento desnecessário, pois ocasiona acréscimo no custo operacional do trator. Porém Silveira et al. (2013) afirmam que deve-se ter cuidado quando

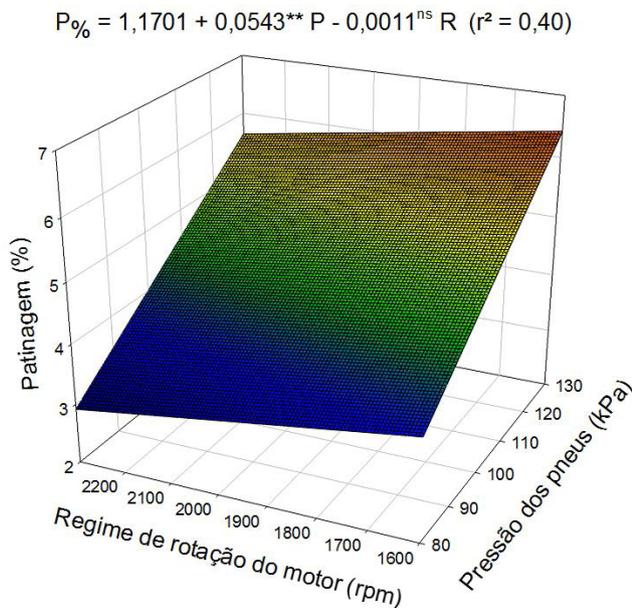
se trabalha com o motor em rotações próximas à rotação de torque máximo, pois caso haja aumento na demanda de potência, tanto a rotação quanto a reserva de torque do motor irão diminuir, provocando perdas de rendimento, aumento no consumo de combustível e até desgaste do motor.

A partir da Figura 6 é possível visualizar a equação ajustada, assim como a superfície de resposta da patinagem em função de pressão interna dos pneus e regime de rotação do motor, sendo que somente a pressão de insuflação influenciou de forma significativa nos valores da variável dependente.



**Figura 5.** Equação ajustada e superfície de resposta para descrever o consumo horário de combustível do trator ( $C_{Lh}$ ) em função da pressão interna dos pneus (P) e da rotação do motor (R). Sendo:  $r^2$  = coeficiente de determinação ajustado; \*\* = significativo ao nível de 1% pelo teste t

**Figure 5.** Adjusted equation and response surface to describe the tractor's hourly fuel consumption ( $C_{Lh}$ ) as a function of internal tire pressure (P) and engine speed (R). Being:  $r^2$  = adjusted coefficient of determination; \*\* = Significant at the 1% level by the t test.



**Figura 6.** Equação ajustada e superfície de resposta para descrever a patinagem das rodas motrizes ( $P_{\%}$ ) em função da pressão interna dos pneus e da rotação do motor. \*\* = significativo; ns = não significativo, ambos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t

**Figure 6.** Adjusted equation and response surface to describe the skidding of the drive wheels ( $P_{\%}$ ) as a function of tire pressure and engine speed. \*\* - Significant and ns - not significant. Both were at the 1% probability level by the t test.

A não influência do regime de rotação do motor na patinagem das rodas motrizes é em detrimento da não variação da velocidade de deslocamento da máquina durante o experimento, pois conforme Garcia et al. (2011) e Furlani et al. (2005), o aumento da velocidade de trabalho provoca acréscimos significativos nos valores de patinagem dos rodados.

A pressão interna dos pneus provocou efetivo linear positivo na patinagem das rodas, pois o acréscimo de uma unidade de pressão (kPa) nos pneus resulta no incremento de 0,0543% no valor da patinagem, considerando o mesmo regime de rotação do motor. Esse comportamento é em razão da diminuição da área de contato entre pneu e solo, que em consequência reduz a aderência entre as superfícies. Taghavifar & Mardani (2012), ao pesquisarem sobre aspectos relativos ao desempenho de um pneu radial submetido a diferentes cargas e pressões de insuflação, verificaram maior área de contato na menor pressão, considerando a mesma carga. Tal comportamento, segundo os autores, dá-se em detrimento do decréscimo da deflexão do pneu. Já Feitosa et al. (2015) afirmam que o incremento de uma unidade de pressão nos pneus resulta em redução de 0,001 m<sup>2</sup> na área de contato.

Resultados semelhantes foram encontrados na pesquisa desenvolvida por Furtado Júnior (2013), na qual se observa redução da patinagem com a redução da pressão de insuflação dos pneus.

## 4 Conclusões

A pressão de insuflação dos rodados e o regime de rotação influenciam de forma significativa no ruído, sendo os menores valores dessa variável encontrados na menor rotação do motor e na maior pressão de insuflação.

Com relação à vibração longitudinal, verifica-se que a pressão de insuflação dos rodados e o regime de rotação do motor não influenciam nos níveis dessa variável, sendo que os valores encontrados não prejudicam os operadores.

O regime de rotação do motor provoca efeitos significativos nos valores de vibração vertical.

O consumo horário de combustível é afetado significativamente pela pressão interna dos pneus e pelo regime de rotação do motor.

Constatam-se menores valores de patinagem para o trator operando na menor pressão interna dos pneus.

A partir dos resultados é indicado que na operação de escarificação o trator trabalhe no menor regime de rotação, obtendo assim menores valores de vibração vertical e menor consumo de combustível.

## Referências

AMAURY, P. S.; DUTRA, R. B. C.; MINETTE, L. J.; MARZANO, F. L. C.; SCETTINO, S. Metas de produção para trabalhadores de corte florestal. *Revista Árvore*, v. 39, n. 4, p. 713-722, 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO – MTE. *Atividades e operações insalubres: NR-15*. Disponível: <[http://www.mtb.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15.pdf](http://www.mtb.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15.pdf)>. Acesso em: 11 nov. 2016.

CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, M. A. V.; SOUZA, C. M. A. Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas. *Idesia*, v. 30, n. 1, 2012.

DEWANGAN, K. N.; PRASANNA KUMAR, G. V.; TEWARI, V. K. Noise characteristics of tractors and health effect on farmers. *Applied Acoustics*, 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*. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.

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

FURLANI, C. A. A.; LOPES, A.; SILVA, R. P.; REIS, G. N. Exigências de uma semeadora-adubadora de precisão variando a velocidade e a condição da superfície do solo. *Ciência Rural*, v. 35, n. 4, p. 920-923, 2005.

FURTADO JUNIOR, M. R. *Análise operacional de um trator agrícola em função da pressão interna dos pneus e inclinação da linha de tração*. 2013. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

GARCIA, R. F.; VALE, W. G.; OLIVEIRA, M. T. R.; PEREIRA, E. M.; AMIM, R. T.; BRAGA, T. C. Influência da velocidade de deslocamento no desempenho de uma semeadora-adubadora de precisão no Norte Fluminense. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 33, n. 3, p. 417-422, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. *ISO 2631-1:1997: Mechanical vibration and shock – evaluation of human exposure to wholebody vibration – Part I: general requirements*. Switzerland: ISO, 1997.

JAIN, K. K.; SHRIVASTAVA, A. K.; MEHTA, C. R. Analysis of selected tractor seats for seating dimensions in laboratory. *Agricultural Engineering International*, v. 10, n. 1, p. 1-10, 2008.

LEITE, D. M. *Desempenho de um conjunto trator-grade em função da velocidade do trator, pressão interna e tipo de construção dos pneus*. 2015. 84 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

MAGALHÃES, A. T.; CORTEZ, J. W.; NAGAHAMA, H. J. Nível de ruído de um trator agrícola em função da rotação, da distância, da velocidade e da condição do solo obtido por meio de decibelímetro com e sem proteção do vento. *Energia na Agricultura*, v. 27, n. 4, out./dez. 2012.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2012.

RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; LYRA, G. A.; SANDI, F. Consumo de combustível de uma colhedora de cana-de-açúcar em diferentes configurações de operação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 6, p. 588-592, 2016.

RIBAS, R. L.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; FARIAS, M. S.; RODRIGUES, F. A. Exposição humana à vibrações de corpo inteiro em um trator agrícola com pneus radiais. *Ciência Rural*, v. 44, n. 9, p. 1589-1595, 2014.

SARTORI, G. M. S.; MARCHESAN, E.; DAVID, R.; DONATO, G.; COELHO, L. L.; AIRES, N. P.; ARAMBURU, B. B. Sistemas de preparo do solo e de semeadura no rendimento de grãos de soja em área de várzea. *Ciência Rural*, v. 46, n. 3, p. 492-498, 2016.

SCHLOSSER, J. F.; DEBIASI, H. Conforto, preocupação com o operador. *Revista Cultivar Máquinas*, n. 1, p. 3-9, 2002. (Caderno Técnico).

SILVEIRA, J. C. M.; FERNANDES, H. C.; MODOLO, A. J.; SILVA, S. L.; TROGELLO, E. Demanda energética de uma semeadora-adubadora em diferentes velocidades de deslocamento e rotações do motor. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 44, n. 1, p. 44-52, 2013.

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

TAGHAVIFAR, H.; MARDANI, A. Contact área determination of agricultural tractor wheel with soil. *Cercetari Agronomice in Moldova*, v. 45, n. 2, p. 15-20, 2012.

**Contribuição dos autores:** Diego Wesley Ferreira do Nascimento Santos, Paulo Roberto Forastiere e Marconi Ribeiro Furtado Junior instrumentaram a máquina, executaram o experimento e contribuíram com escrita científica do trabalho; Domingos Sárvio Magalhães Valente e Haroldo Carlos Fernandes participaram da condução do experimento e contribuíram com a escrita científica, revisão ortográfica e gramatical do trabalho.

**Fonte de financiamento:** Coordenação de Aperfeiçoamento e Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelas bolsas concedidas.

**Conflito de interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.