

ESTIMATIVA DAS PRESSÕES VERTICAIS APLICADAS AO SOLO POR TRATORES AGRÍCOLAS

* **Kasé Santos Lacerda** ⁽¹⁾, **Kleber Mariano Ribeiro** ⁽²⁾

¹*Graduando em Zootecnia, IF Sudeste MG Campus Rio Pomba; E-mail:*

kaselacerdafilho@hotmail.com

²*Docente, Departamento Acadêmico de Agricultura e Ambiente, IF Sudeste MG - Campus Rio Pomba;*

E-mail: kleber.ribeiro@ifsudestemg.edu.br

RESUMO:

O presente trabalho buscou estimar a tensão vertical aplicada ao solo por dois tratores agrícolas de pneus utilizados diariamente no campus Rio Pomba do IF Sudeste MG, como primeira etapa de um projeto que busca criar um plano de gestão para o maquinário agrícola da instituição. Para a estimativa das tensões verticais foram levantadas a força peso e área de contato pneu-solo dos tratores agrícolas MF 265 e MF 275 da marca Massey Ferguson. A massa total e massa nos eixos foram quantificadas em uma balança comercial da empresa parceira Soma Nutrição Animal e posteriormente, transformadas em força via multiplicação da aceleração da gravidade. Já para a predição da área de contato foram utilizados trepa de fibra de vidro para mensurar as dimensões dos pneus, manômetro analógico e catálogo dos pneus para quantificar a pressão de ar atual e a pressão de ar recomendada, em ordem. Diante dessas informações, as metodologias propostas por Keller et al. (2005) e Lanças et al. (2005) foram utilizadas para estimar a área de contato entre pneu e solo. Por fim, a tensão vertical aplicada no solo foi estimada por meio da relação entre força peso e área de contato da máquina. Os valores encontrados para as tensões verticais dos tratores MF 265 e MF 275 foram próximos, como esperado, e semelhantes a outros valores observados na literatura. A associação dessas informações com dados de pré-consolidação do solo permitirá decidir o momento para entrada das máquinas estudadas no campo, com a composição do plano de gestão.

Palavras-chave: Área de contato, Força, Pressão, Relação máquina-solo.

INTRODUÇÃO

A agropecuária é uma das principais atividades econômicas desenvolvidas no Brasil atual, com contribuição significativa na Produto Interno Bruto do país. Segundo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2018), foi registrado 13% de crescimento do setor em 2017.

Esse destaque da atividade agropecuária vem acompanhado da adoção de novas técnicas de produção animal e vegetal e agroindustriais, com a adoção de biotecnologias, informática aplicada, melhoramento genético e também de máquinas e implementos agrícolas no campo.

Segundo Pontes e Padula (2005), a partir do ano 2000 a indústria de máquinas agrícolas retomou o crescimento na produção e vendas de tratores de rodas e colheitadeiras, investindo na ampliação da capacidade produtiva de suas fábricas, o que conseqüentemente teve relação direta com o crescimento produtivo do país.

Máquinas e implementos agrícolas operados corretamente otimizam a capacidade de trabalho e reduzem os custos da produção agropecuária, conforme descrito por Hunt (1995), por Peloia e Milan (2010) e por Oliveira et al. (2013). Todavia, ainda existem situações em que a relação máquina-ambiente não é respeitosa, resultando em acidentes no ambiente de trabalho e em danos ambientais pelo deslocamento do maquinário no campo.

O tráfego intenso, irregular e sem planejamento das máquinas agrícolas vem a aumentar a densidade do solo, reduzir a porosidade total, decrescer a infiltração e o armazenamento de água (DIAS JÚNIOR e PIERCE, 1996), restringir o fluxo de gases e aumentar a resistência ao crescimento de raízes (HAMZA e ANDERSON, 2005). Todas essas alterações na estrutura do solo, seja de forma isolada ou em conjunto, tendem a reduzir a produtividade das culturas e merecem atenção.

Esse processo de compactação do solo é resultado de uma distribuição de tensões verticais na área agrícola, em que de um lado está a máquina aplicando tensão vertical descendente e do outro encontra-se o solo reagindo com tensão vertical ascendente.

A tensão aplicada ao solo por um trator agrícola consiste da relação entre a força peso da máquina e a área de contato dos pneus. No tocante a força peso, o conhecimento do sistema de tração do trator (4x2, 4x2 TDA ou 4x4) e a relação peso-potência (geralmente entre 40 a 60 kg.cv⁻¹) são essenciais para estimativa da distribuição de peso entre os rodados do trator agrícola. Já para a previsão da área de contato com o solo, as dimensões (altura e largura), o tipo (radial e diagonal) e a pressão de ar insuflado nos pneus são informações importantes.

O solo também aplica uma tensão sobre os pneus dos tratores agrícolas, com mesma direção, porém com sentido contrário, obedecendo as leis da mecânica clássica. A intensidade dessa reação que o solo exerce é função de diversos parâmetros - tal como textura, estrutura, teor de matéria orgânica, etc. - todavia, a umidade do solo é considerada por muitos pesquisadores como a principal variável. Solos com umidade elevada apresentam reduzida capacidade de suportar cargas e, tão logo, baixa reação a cargas aplicadas. Já solos com baixa umidade possuem capacidade de suporte de cargas superiores, quando comparados com a descrição anterior, e a intensidade da reação a aplicação de cargas também são maiores (KONDO e DIAS JÚNIOR, 1999).

Diante das intensidades dessas tensões é possível estimar a resultante e prever se a deformação no solo será do tipo elástica, quando o solo consegue reestabelecer suas dimensões e formas iniciais após cessar a carga aplicada, ou plástica, quando o solo não consegue recuperar sua forma e dimensão depois da aplicação da tensão (TOKUMOTO, 2003). Nas ciências agrárias a deformação plástica é a que deve ser evitada, visto que o solo impede o crescimento dos sistemas radiculares das culturas nessas condições.

Investir no planejamento das operações e acessar a área agrícola no momento oportuno, elimina as possibilidades de deformações plásticas no solo e apresenta menor custo que realizar operações corretivas em solo compactados. Entretanto, para obter êxito nesse gerenciamento, é necessário conhecer detalhadamente a relação máquina-solo, o que passa pela estimativa da tensão aplicada ao solo pelos rodados do trator.

Neste contexto, o presente trabalho buscou estimar a tensão vertical aplicada ao solo por dois (2) tratores agrícolas de pneus utilizados diariamente no campus Rio Pomba do IF Sudeste MG.

METODOLOGIA

Dois (2) tratores agrícolas de pneus da marca Massey Ferguson, modelo MF 265 (47,80 kW de potência no motor a 2200 rpm) e MF 275 (55,16 kW de potência no motor a 2200 rpm), foram selecionados para a realização das abordagens propostas. Ambas as máquinas agrícolas apresentam sistema de tração 4x2 TDA e são utilizadas diariamente nas atividades agropecuárias do campus Rio Pomba do IF Sudeste MG.

A quantificação da força peso distribuída entre os eixos dos tratores agrícolas foi realizada na balança comercial da empresa parceira Soma Alimentos, em que foram mensuradas a massa total e a massa de cada eixo (dianteiro e traseiro) das máquinas agrícolas, sendo esses dados expressados em quilogramas. Ao final desse procedimento, as massas encontradas foram transformadas em força peso via multiplicação dos valores por 9,81 m.s⁻².

Já a área de contato dos pneus com o solo foi estimada por meio das Equações 1 e 2, propostas por Keller et al. (2005) e Lanças et al. (2005).

$$l_a = 0,47 + 0,11 \cdot d_{\text{pneu}}^2 - 0,16 \cdot \text{LN}\left(\frac{p_{\text{pneu}}}{p_{\text{recomendado}}}\right) \quad \text{Eq. 1}$$

$$A_c = 0,78 \cdot w_a \cdot l_a \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

l_a corresponde o comprimento da área de contato, expresso em m;

d_{pneu} é o diâmetro do pneu, expresso em m;

p_{pneu} é a pressão de ar insuflado atualmente no pneu, expressa em kPa;

$p_{\text{recomendado}}$ consiste da pressão de ar recomendada pelo fabricante, expressa em kPa;

A_c corresponde a área de contato do pneu com o solo, expresso em m^2 ;
 w_a é a largura do pneu, expresso em m.

A largura e diâmetro dos pneus - variáveis de entrada nas Equações 1 e 2 - foram mensurados utilizando trena de fibra de vidro, a pressão de ar atual nos pneus foi quantificada com manômetro analógico e pressão de ar recomendada nos pneus foi pesquisada nos catálogos técnicos disponibilizados pelos fabricantes.

A tensão vertical média foi obtida pela relação entre a força peso e a área de contato, expressa em kPa, enquanto a tensão vertical máxima foi estimada via Equação 3 abaixo.

$$\sigma_{m\acute{a}xima} = 34,40 + 1,13 \cdot p_{pneu} + 0,72 \cdot F_{pneu} - 33,40 \cdot \ln\left(\frac{p_{pneu}}{p_{recomendado}}\right) \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

F_{pneu} é a carga aplicada no pneu, expresso em kN;

$\sigma_{m\acute{a}xima}$ é a tensão vertical máxima aplicada no solo, expresso em kPa.

Por fim, os valores de tensão vertical aplicada ao solo pelos dos dois (2) tratores agrícolas estudados foram analisados e interpretados a luz da literatura.

RESULTADO E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta características atuais tratores MF 265 e MF 275 – potência no motor, massa total e em cada eixo da máquina agrícola, largura e diâmetro dos pneus e pressão do ar insuflado nos pneus - e valores estimados para relação massa-potência, comprimento da área de contato, área de contato pneu-solo e tensão vertical.

TABELA 1: Distribuição de massa nos eixos, áreas de contato e tensão vertical estimadas para os tratores agrícolas de pneus MF 265 e MF 275.

PARÂMETROS:	MF 265		MF 275	
Potência no motor:	47,80 kW (65 cv)		55,16 kW (75 cv)	
Massa total do trator:	4350 kg		4410 kg	
Relação massa-potência:	66,92 kg.cv ⁻¹		58,80 kg.cv ⁻¹	
-----	DIANTEIRO	TRASEIRO	DIANTEIRO	TRASEIRO
Massa no eixo:	1810 kg (42%)	2540 kg (58%)	1870 kg (42%)	2540 kg (58%)
Carga aplicada no pneu:	8,87 kN	12,45 kN	9,16 kN	12,45 kN
Descrição do pneu:	12,4-24	18,4-30	12,4-24	18,4-30
Largura do pneu:	0,32 m	0,46 m	0,32 m	0,47 m
Diâmetro do pneu:	1,11 m	1,55 m	1,13 m	1,49 m
Pressão atual:	124 kPa	117 kPa	174 kPa	110 kPa
Pressão recomendada:	221 kPa	221 kPa	221 kPa	221 kPa
Comp. da área de contato:	0,70 m	0,84 m	0,65 m	0,83 m
Área de contato:	0,17 m ²	0,30 m ²	0,16 m ²	0,30 m ²
Tensão vertical média:	51,38 kPa	41,24 kPa	57,11 kPa	41,10 kPa
Tensão vertical máxima:	200,24 kPa	196,94 kPa	245,55 kPa	190,91 kPa

A relação massa-potência dos tratores agrícolas varia entre 40 kg.cv⁻¹ e 60 kg.cv⁻¹. Neste contexto, o trator MF 265, que apresenta relação massa-potência igual a 66,92 kg.cv⁻¹, está com excesso de lastro (metal colocados nas rodas e/ou no chassi dos tratores, ou ainda líquido inserido nos pneus agrícolas em substituição ao volume de ar) em sua estrutura e ultrapassar o limite superior desse intervalo não é recomendado. Lastro em excesso pode aumentar o consumo de combustível por ter que deslocar uma massa inerte ao maquinário, reduzir a capacidade operacional e também causar a redução da vida útil por desgaste de peças, conforme discutido por Monteiro, Lanças e Masiero (2009). Ao contrário do MF 265, o trator agrícola MF 275, que apresenta relação massa-potência de 58,80 kg.cv⁻¹, está dentro dos limites recomendados na literatura.

As cargas aplicadas nos pneus dos dois tratores agrícolas ensaiados foram iguais nos eixos traseiros e próximos nos eixos dianteiros (com diferença de apenas 0,29 kN entre os valores). Esses resultados eram esperados visto a semelhança física entre as duas máquinas agrícolas estudadas.

Assim como as cargas aplicadas nos pneus, também era esperado que o comprimento da área de contato e a área de contato dos pneus apresentaram valores próximos por ambos tratores utilizarem pneus com mesmas características. Às pequenas diferenças nos valores observados podem ser atribuídas a erros humanos nas medidas levantadas, aos diferentes desgastes dos pneus dos tratores e também às diferenças de pressões insufladas nos pneus.

Com relação as tensões verticais estimadas, os maiores valores foram observados nos pneus dianteiros do trator MF 275, com 57,11 kPa de tensão média e 245 kPa de tensão máxima. Esses valores podem ser explicados pela alta pressão do ar atual nos pneus dianteiros do trator MF 275 (174 kPa), o que tende a reduzir a área de contato e, conseqüentemente, elevar as tensões verticais, conforme discutido por Araújo Jr. e Dias Jr. (2011). Aqui cabe destacar a importância e os cuidados com a calibração dos pneus, sem déficit e nem excessos de pressões, para que haja equilíbrio entre tração, desgaste dos pneus, consumo de combustível e pressões verticais aplicadas ao solo.

As tensões verticais estimadas para os modelos MF 265 e MF 275 foram coerentes com as observadas na literatura. Araújo e Dias Jr. (2012) estudaram as tensões verticais aplicadas ao solo por um trator Valmet 68, sistema de tração 4x2, 47,80 kW de potência no motor a 2100 rpm e observaram pressão máxima de 191,98 kPa aplicados pelos rodados traseiros do trator quando inserido 124 kPa de ar nos pneus. Já Feitosa et al. (2014) analisaram pressões aplicadas ao solo por trator da marca John Deere, modelo 5705, sistema de tração 4x2 TDA, 62,56 kW de potência no motor a 2400 rpm e verificaram tensão normal média de 62,88 kPa no solo quando inserido ar a pressão de 110 kPa nos pneus dianteiros e pressão normal média de 52,87 kPa a 110,32 kPa de pressão de ar insuflado nos pneus traseiros.

A associação das tensões verticais aplicadas pelo trator agrícola com dados de pré-consolidação do solo permitirá elaborar um plano de gestão para as operações envolvendo máquinas agrícolas, auxiliando a decisão de quando iniciar a atividade no campo. Além disso, os valores de tensão vertical máxima aqui apresentados, com exceção do observado para os pneus dianteiros do MF 275, foram próximos das encontradas por Souza et al. (1998) no estudo de pressão aplicada ao solo por bovinos de corte de 400 kg, em que observou um valor de 190,3 kPa. Esse resultado abre espaço para a aplicação da teoria relação máquina-solo e da pressão de pré-consolidação do solo em outra área do conhecimento, aqui representada pela pecuária de corte.

CONCLUSÃO

As tensões verticais aplicadas ao solo pelos dois tratores agrícolas de pneus foram estimadas e os valores encontrados mostraram-se semelhantes aos observados na literatura.

A associação dessas informações com dados de pré-consolidação do solo permitirá a elaboração de um plano de gestão para a área agrícola, com a tomada de decisão do momento exato que o maquinário deverá iniciar a atividade agrícola, e fica aqui como proposta de trabalho futuro.

AGRADECIMENTOS

A empresa Soma Nutrição Animal por disponibilizar sua estrutura física para a quantificação das massas dos tratores agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO Jr., C. F.; DIAS Jr., M. S. Modelagem das tensões verticais aplicadas ao solo por um trator cafeeiro para predição da compactação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 2011. Uberlândia. **Anais ...** Uberlândia: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2011. p. 1-4.

DIAS Jr., M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 2, p. 175-182, 1996.

FEITOSA, J. R. et al. Determinação da área de contato entre os pneus de um trator agrícola e o solo em função de diferentes pressões internas dos pneus. In: XLIII CONGRESSO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA AGRÍCOLA. 2014. Campo Grande, MG. **Anais ...** Campo Grande: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2014. p. 1-4.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and tillage research**, v. 82, n. 2, p. 121-145, 2005.

HUNT, D.R. **Farm power and machinery management**. 9.ed. Ames: Iowa University Press, 1995. 365 p.

KELLER, T. A model for the prediction of the contact area and the distribution of vertical stress below agricultural tyres from readily available tyre parameters. **Biosystems engineering**, v. 92, n. 1, p. 85-96. 2005.

KONDO, M. K.; DIAS Jr., M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 211-218. 1999.

LANÇAS, K. P. et al. Pneus radiais. **Cultivar Máquinas**, v. 48, p. 3-10, 2005.

MANTOVANI, E. C. Máquinas e implementos agrícolas. **Informe Agropecuário**. v. 13, n. 147, p. 56-63. 1987.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. Agropecuária cresceu 13% em 2017. 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-cresceu-13-em-2017>>. Acesso realizado em 22 mar. 2019.

MONTEIRO, L. de A.; LANÇAS, K. P.; MASIERO, F. C. Adição de lastro quando colocar. **Revista Panorama Rural**, Ribeirão Preto, p. 50 - 55, v. 01, jul. 2009.

OLIVEIRA, M. V. M. et al. Declividade máxima permitida para uma colhedora de café trabalhando em regiões montanhosas. In: VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. 2013, Salvador. **Anais ...** Salvador: VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. 2013.

PEDROTTI, A.; DIAS Jr., M. S. Compactação do solo: Como evitá-la. **Agropecuária Catarinense, Florianópolis**, v. 9, n. 4, p. 50-52, 1996.

PELOIA, P. R.; MILAN, M. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 4, p. 681-691, 2010.

PONTES, N. R.; PADULA, A. D. Avaliação dos impactos e transformações do programa Moderfrota na indústria de máquinas agrícolas. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL. v. 43, 2005, Ribeirão Preto. **Anais ...** Ribeirão Preto: SOBER, 2005. p. 1-16.

SOUSA, A. R.; SILVA, A. B.; RESENDE, M. Influência da pressão exercida por pisoteio de animais na compactação do solo do vale do Pajeú, em Pernambuco. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 1998. Fortaleza, **Anais ...**, Fortaleza: SBCS, p:327, 1998.

TOKUMOTO, S. **Deformação plástica do polipropileno isotático: Aspectos do mecanismo, propriedades e morfologia**. 2003. Tese (Doutorado em Ciências dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul.