

ENSAIOS EM SUPERFÍCIE RÍGIDA COM TRÊS MODELOS DE PNEUS PARA VEÍCULOS DE CARGA NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

ALDIR CARPES MARQUES FILHO¹, DANIEL ROVERI BALESTRIN², JOSÉ TOMBA NETO³, SIMONE DANIELA SARTORIO DE MEDEIROS⁴, KLEBER PEREIRA LANÇAS⁵

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, FCA/UNESP, Botucatu/SP, (14) 38807119, aldir.marques@unesp.br

² Graduando em Engenharia Agrônômica, FCA/UNESP, Botucatu/SP, (14) 38807119, daniel.balestrin@unesp.br

³ Graduando em Engenharia Agrônômica, FCA/UNESP, Botucatu/SP, (14) 38807119, jose.tomba@unesp.br

⁴ Prof. Dr., Departamento de informática e estatística, INE/UFSC, Florianópolis, (48) 37219498, sisartorio@gmail.com

⁵ Prof. Dr., Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP, Botucatu/SP, (14) 38807119, kp.lancas@unesp.br

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

RESUMO: Na cultura da cana-de-açúcar os veículos de carga e transporte possuem alta capacidade de causar danos ao solo, prejudicando a longevidade dos canaviais e a rentabilidade da cultura. O objetivo do presente estudo foi avaliar através de ensaios laboratoriais em superfície rígida, a área de contato de três modelos de pneus utilizados em veículos de carga e transporte na cultura da cana-de-açúcar. A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Estadual Paulista, UNESP - Botucatu-SP. Os modelos de pneus avaliados foram, P1: rodado duplo (2 x 275/80R22.5); P2 (600/50R22.5) e, P3 (600/50-22.5) em delineamento inteiramente casualizado com três repetições, para a área de contato total e área de garras. Os resultados demonstraram melhor desempenho em área total para o pneu P2, já para a área de garras o pneu P1 apresentou as maiores médias e relações de proporcionalidade entre área total e área de garras igual a 66,9%, em contraste a 34,8% de P2 e 54,8% de P3. A utilização de pneus rodoviários em montagem dupla para os veículos de carga na cultura da cana-de-açúcar pode ser aplicável em situações em que o tráfego é controlado. Para áreas onde não se aplicam medidas de controle de tráfego, o pneu P2 apresentou o melhor desempenho.

PALAVRAS-CHAVE: mecanização, rodados agrícolas, *footprint*

RIGID SURFACE TEST WITH THREE TIRE MODELS FOR CARGO VEHICLES IN THE SUGARCANE CROP

ABSTRACT: In sugarcane crop, cargo and transport vehicles have a high capacity to cause damage to the soil, harming the longevity of the sugarcane fields and the profitability of the crop. The aim of the study was to evaluate, through laboratory tests on a hard surface, the contact area of three models of tires used in cargo and transport vehicles in the sugarcane crop. The research was carried out at University of São Paulo State, UNESP - Botucatu-SP. The tire models evaluated were, P1: double wheels (2 x 275/80R22.5); P2 (600/50R22.5) and P3 (600/50-22.5) in a completely randomized design with three replications, for the total contact area and the grip area. The results showed better performance in total area for the P2

tire, whereas for the grip area, the P1 tire had the highest averages and proportionality ratios between total area and grip area equal to 66.9%, in contrast to 34.8 % P2 and 54.8% P3. The use of dual-mount road tires for cargo vehicles in sugarcane cultivation may be applicable in situations where traffic is controlled. For areas where traffic control measures are not applied, the P2 tire showed the best performance.

KEYWORDS: mechanization, agricultural wheels, footprint

INTRODUÇÃO: O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e a expressão do setor segue preceitos de preservação ambiental e sustentabilidade dos processos agrícolas. Além do etanol, um biocombustível renovável, as unidades produtivas atuam ainda na geração de energia elétrica, contribuindo diretamente para a ampliação e sustentabilidade do processo agroindustrial (CONAB, 2020). A cana-de-açúcar é uma das culturas que mais sofrem passagens de máquinas ao longo de seu ciclo produtivo (MAZZA, 2015). Os rodados agrícolas apresentam destacada importância no impacto causado pelo trânsito de máquinas nas áreas agrícolas (FARHADI et al., 2019). Entretanto, durante a operação de corte, colheita e transbordo é que ocorre o maior impacto no solo para as áreas cultivadas com cana-de-açúcar (JÚNNYOR et al., 2019). Estima-se que ocorram mais de 20 passagens de rodados sobre o mesmo local do solo em cada ciclo de colheita, contando com o trânsito da colhedora e dos veículos de transporte e carregamento, fato que impacta diretamente a estrutura física do solo. De acordo com Marques Filho, Moura e Lanças (2020), as características construtivas dos pneus, influenciam diretamente a capacidade de tração das máquinas e a compactação do solo, sendo de grande relevância o estudo das áreas de contato pneu-solo. O conhecimento aprofundado da interface pneu-solo, permite prever o comportamento de tração e a resistência ao rolamento das máquinas agrícolas (TEIMOURLOU e TAGHAVIFAR, 2015; HE, SANDU e OSORIO, 2019). Entretanto, o comportamento estocástico do pneu nos processos dinâmicos, em contato com a superfície plástica do solo, torna desafiadora a tarefa de realizar ensaios relacionados a esta temática. Segundo Silva et al. (2016) as medidas de área de contato na interface solo-rodado podem ser superestimadas, a depender do método utilizado. Uma das formas de estudar o desempenho de pneus é através da padronização de superfícies, sendo que a superfície indeformável apresenta vantagens para tanto, pois possui comportamento covariável. O estudo da área de interação pneu-solo, permite determinar adequadamente projetos de tráfego controlado e logística de trânsito nas lavouras, com vistas à manutenção da qualidade física dos solos. O objetivo do presente estudo foi avaliar a área de contato de três modelos de pneus utilizados em veículos de carga e transporte na cultura da cana-de-açúcar em ensaios laboratoriais de superfície rígida.

MATERIAL E MÉTODOS: A pesquisa foi desenvolvida no Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA), na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA), UNESP campus de Botucatu – SP. Para a realização dos ensaios, foi utilizada a Unidade Fixa de Ensaio de Pneus (UFEP). A UFEP foi construída e atualizada por diversos pesquisadores do NEMPA (SANTOS e LANÇAS, 1999; MAZETTO et al. 2004; MONTEIRO et al. 2010), permitindo a simulação de diversas condições de interação entre os rodados pneumáticos e diferentes superfícies padronizadas. Os ensaios foram realizados em Superfície Rígida (ESR), em que a banda de rodagem dos pneus foi previamente umedecida com tinta de cor preta, e pressionada em folha de papel cartolina sobre uma superfície indeformável em aço. Foram avaliados três modelos de pneus que são utilizados em veículos de carga e transporte na cultura da cana-de-açúcar (Figura 1),

sendo eles, P1 de construção radial composto por um rodado duplo (2 x 275/80R22.5); P2 de construção radial (600/50R22.5) e, P3 diagonal (600/50-22.5).



FIGURA 1. Modelos de pneus utilizados nos ensaios em superfície rígida. (a.) P1 - construção radial composto por um rodado duplo (2 x 275/80R22.5); (b.) P2 - construção radial (600/50R22.5); (c.) P3 – construção diagonal (600/50-22.5).

Nos ensaios em superfície rígida, os pneus tiveram sua pressão interna ajustada em relação à pressão interna de inflação recomendada pela Associação Latino-americana de Pneus e Aros (ALAPA, 2019). A banda de rodagem dos pneus foi previamente umedecida com tinta nanquim de cor preta, de forma a propiciar a demarcação da área de contato do pneu com a folha de papel cartolina após a aplicação de carga realizada na UFEP. O sistema hidráulico da UFEP foi acionado para realizar descida do pneu com velocidade constante, aplicando uma carga crescente e controlada, até alcançar 50,52 kN (5150 kgf), permanecendo nesse valor máximo por 10 segundos. Após a aplicação da carga, o pneu foi elevado novamente até sua posição inicial e a folha de cartolina retirada. A Tabela 1 apresenta as características técnicas de cada modelo de pneu submetido aos ensaios. As variáveis respostas obtidas nos ESR foram, a área total de contato (cm²), comprimento (cm), largura (cm) e área total das garras (cm²).

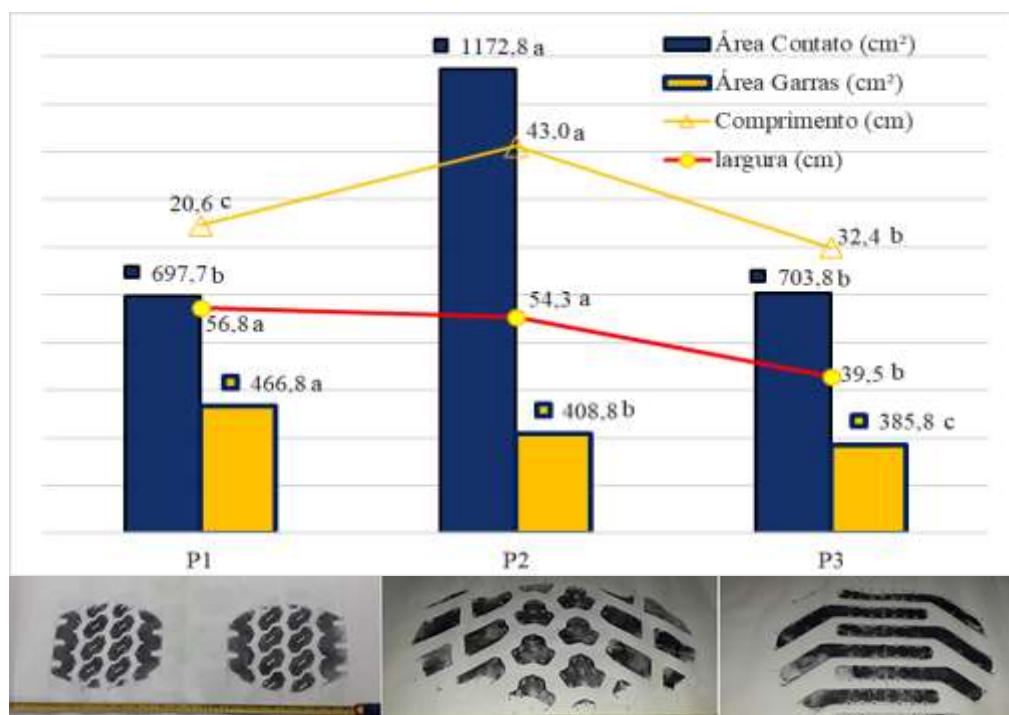
TABELA 1. Características técnicas dos pneus utilizados nos ensaios

Tamanho	Modelo	Largura (mm)	Diametro (mm)	Raio estático (mm)	Pressão infl. (kPa/Psi)	Índice de carga/ velocidade
275/80R22.5 (duplo)	P1	275	1029	515	717/104	149 K
600/50R22.5	P2	616	1181	510	283/41	165 A8
600/50-22.5	P3	600	1172	572	283/41	165 A8

O delineamento experimental utilizado para os ESR foi o inteiramente casualizado (DIC) para 1 superfície de contato e 3 modelos de pneus. Os resultados dos ensaios passaram por testes de normalidade Shapiro-Wilk; teste de homogeneidade de variância de Bartlett e Levene's;

análise de variância (ANOVA) e, quando aplicável, teste de Tukey à 5% de probabilidade. Todas as análises foram desenvolvidas no sistema estatístico R software.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os resultados obtidos nos ensaios em superfície rígida estão descritos na Figura 2. A maior área de contato total foi apresentada por P2, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Os pneus P1 e P3 não apresentaram diferença estatística para a variável área de contato total, o que indica que a montagem dupla de pneus de caminhão possui desempenho semelhante à tecnologia empregada através de pneus diagonais em veículos de transbordo. A similaridade em área de contato total, contribui para a justificativa da aplicação de transbordos rodoviários no canavial, o que de acordo com Melo e Rosa (2015) é uma aplicação crescente, principalmente na fase de implantação da cultura, onde com maior agilidade os caminhões transbordo carregam os órgãos vegetativos para o plantio, de um ponto a outro da lavoura em menor tempo, o que preserva as características de vigor do material propagativo. Entretanto, as altas pressões de inflação destes modelos, podem impactar negativamente a estrutura física do solo. Observou-se que o pneu P2, mesmo apresentando a maior área de contato total dentre os tratamentos, não obteve a maior área de garras. A área total de contato do pneu com a superfície é determinante para o impacto causado no solo, assim em solos firmes a área de garras é o parâmetro mais importante já que estas não penetram no solo, neste aspecto o pneu P1 apresentou melhor desempenho. Silva et al. (2016) afirmaram que a pressão exercida pelo rodado no solo depende diretamente de sua área de contato e pressão de inflação interna, fato que norteia a aplicação deste estudo nas condições de produção sucroalcooleira.



*médias com letras diferentes indicam diferença estatística pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

FIGURA 2. Área de contato proporcionada pelos pneus P1 (275/80R22.5); P2 (600/50R22.5) e P3 (600/50-22.5) em montagem dupla após aplicação de carga na UFEP

Na relação percentual direta entre a área de contato total e área de garras obtidas para cada modelo de pneu, obteve-se o total de 66,9% para P1, 34,8% para P2 e 54,8% para P3. Em áreas de plantio direto, com a camada superior do solo tendendo a uma maior compactação, o pneu P1 apresenta desempenho superior aos pneus P2 e P3 já que a área de contato real com o solo será determinada pela área de garras, fato que encontra fundamentação nos estudos de Teimourlou e Taghavifar (2015) e Silva et al. (2016). Para a variável comprimento foi obtida diferença estatística em todos os tratamentos, com a maior média atribuída a P2 e menor média para P1. A deformação dos pneus relaciona-se com o modelo construtivo, número de lonas internas e matéria prima de desenvolvimento. A capacidade de deformação longitudinal de um pneu é uma característica desejável, já que propicia aumento da área de contato com o solo sobre a linha de tráfego e mantém o afastamento da linha lateral ou linha da cultura vegetal. Desta forma, pneus com deformação longitudinal tendem a proporcionar menor estresse ao solo no ambiente radicular das culturas. Para a variável largura de contato, P1 e P2 não diferiram estatisticamente, entretanto P3 apresentou a menor média global dentre os pneus estudados, fato que pode ser correlacionado à maior rigidez da banda lateral nos pneus diagonais e ao formato elipsoidal da área de contato expressa por estes modelos. Considerando-se que, mesmo em áreas com tráfego controlado os veículos ocasionalmente podem sair do traçado original planejado, maiores áreas de contato total são recomendadas pela atenuação e distribuição de cargas no solo de forma mais homogênea, este fato corrobora com os estudos de Farhate et al. (2019). Os resultados dos ensaios em superfície rígida para os três modelos de pneus, evidenciaram que, pneus com tecnologias distintas, quando aplicados em superfícies que apresentam baixa deformação, como as superfícies de solos compactados, entrelinhas da cultura da cana-de-açúcar e áreas com plantio direto estabelecido, apresentam áreas de contato dependentes da área total de garras, fato que incorre em vantagens para o modelo de pneu P1 em montagem dupla. Entretanto, em superfícies deformáveis como nos solos descobertos, recém preparados ou com teores altos de água, as menores áreas totais causam maior estresse à estrutura física do solo, não sendo recomendados para estes casos, sob pena de danos permanentes no solo (ALAOUI e DISERENS, 2018). De acordo com Mamkagh (2019) a alteração da área de contato da interface pneu-solo pode ser obtida variando-se a pressão interna de inflação dos pneus, entretanto, essa relação deve obedecer a certos limites, para que não danifique a estrutura dos pneus. Os autores concluem que, as corretas seleções da pressão interna de inflação dos pneus, bem como das condições de umidade do solo, podem contribuir para o aumento da eficiência da operação mecanizada. Desta forma, a seleção do modelo ideal de pneu a ser utilizado, irá depender das condições gerais de manejo da unidade produtiva e da gestão do tráfego de máquinas na lavoura.

CONCLUSÕES: Maiores áreas de contato total de um pneu não refletem necessariamente em maior área de contato de garras. A relação de área total/área de garras foi de 66,9% em P1, 34,8% em P2 e 54,8% em P3. A utilização de pneus rodoviários em montagem dupla para os veículos de carga na cultura da cana-de-açúcar pode ser aplicável em situações em que o tráfego é controlado. Para áreas onde não se aplicam medidas de controle de tráfego, o pneu P2 apresentou o melhor desempenho.

REFERÊNCIAS:

ALAOUI, A.; DISERENS, E. Mapping soil compaction – A review. **Current opinion in environmental science & health**, v. 5, p. 60-66, 2018.

ALAPA, Associação Latino-Americana dos Fabricantes de Pneus, Aros e Rodas. Manual de segurança agrícola e off the road, 2019. Disponível em: < <https://alapa.org.br/manuais-e-publicacoes/>> Acesso em: 30 ago. 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra Brasileira: Cana-de-açúcar, safra 2020/21, vol. 7.** Terceiro levantamento, Brasília- DF, p:1-62, n.1, 2020.

FARHADI, P.; GOLMOHAMMADI, A.; MALVAJERDI, A. S.; SHAHGHOLI, G. Finite element modeling of the interaction of a treaded tire with clay-loam soil. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.162, p.793-806, 2019.

HE, R.; SANDU, C.; OSORIO, J. E. Systematic tests for study of tire tractive performance on soft soil: Part I-Experimental data collection. **Journal of Terramechanics**, v. 85, p. 59-76, 2019.

JÚNNYOR, W. D. S. G.; DISERENS, E., MARIA, I. C. D.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; FARHATE, C. V. V.; DE SOUZA, Z. M. Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation. **Science of the total environment**, v. 681, p. 424-434, 2019.

MAMKAGH, A. M. Effect of soil moisture, tillage speed, depth, ballast weight and, used implement on wheel slippage of the tractor: a review. **Asian Journal of Advances in Agricultural Research**, p. 1-7, 2019.

MARQUES FILHO, A. C.; MOURA, M. S.; LANÇAS, K. P. Rodados agrícolas, desafios e perspectivas relacionadas ao trânsito de máquinas em áreas cultivadas. **Revista Plantio Direto**, ed. 154, 2020.

MAZZA, J. A. Sistematização e manejo conservacionista dos solos: Manejo dos solos na cana-de-açúcar como subsídio à mecanização. In: BELARDO, G.C; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-açúcar**. 1 ed., 344p., Jaboticabal: SBEA, 2015. Cap.4, p.89-104.

MAZETTO, F. R.; LANÇAS, K. P.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO, P.; GUERRA, S. P. Avaliação do contato pneu-solo em três modelos de pneus agrícolas. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n.3, p.750-757, 2004.

MELO, M. O.; ROSA, J. H. M. Corte Transbordo e Transporte: **Uso de transbordo na colheita mecanizada e seus impactos no CTT**. In: BELARDO, G.C; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-açúcar**. 1ed., 344p., Jaboticabal: SBEA, 2015. Cap.18.1, p.429-438.

MONTEIRO, L. A.; MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; GUERRA, S. P. S.; JESUS, M. G. Avaliação de pneus para carretas transbordo em tanque de solo. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.17, n.1, p.7-16, Garça, 2010.

TEIMOURLOU, R. F.; TAGHAVIFAR, H. Determination of the super-elliptic shape of tire-soil contact area using image processing method. **Cercetari Agronomice** in Moldova, v.48, n.2, p.5-14, 2015.

SANTOS, P.; LANÇAS, K. Determinação da área de contato entre um pneu agrícola e uma superfície rígida utilizando-se o método da prensa hidráulica. **Energia na Agricultura**, v.14, n.3, p.57-64, 1999.

SILVA, R. B. D.; IORI, P.; SOUZA, Z. M. D.; PEREIRA, D. D. M. G.; VISCHI FILHO, O. J.; SILVA, F. A. D. M. Pressões de contato e o impacto de conjuntos motomecanizados em Latossolo com presença e ausência de palhada de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 3, p. 265-278, 2016.